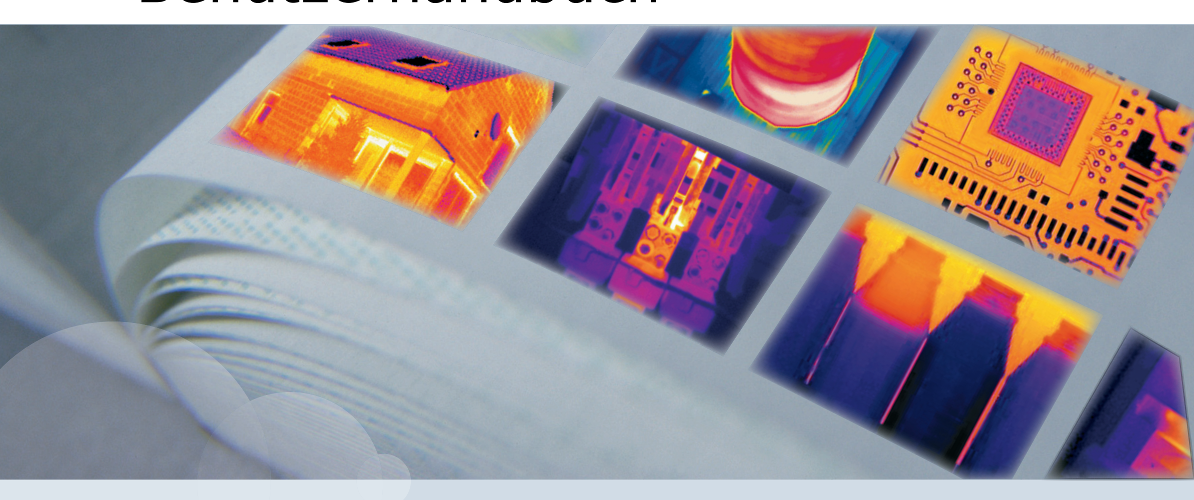


Benutzerhandbuch



FLIR Exx series

Publ. No.	T559651
Revision	a540
Language	German (DE)
Issue date	May 25, 2011

Benutzerhandbuch





Publ. No. T559651 Rev. a540 – GERMAN (DE) – May 25, 2011

Haftungsausschluss

Für alle von FLIR Systems hergestellten Produkte gilt eine Garantie auf Material- und Produktionsmängel von einem (1) Jahr ab dem Lieferdatum des ursprünglichen Erwerbs, wenn diese Produkte unter normalen Bedingungen und gemäß den Anweisungen von FLIR Systems gelagert, verwendet und betrieben wurden.

Für Produkte, die in von FLIR Systems an den Erstkäufer gelieferten Systemen enthalten sind, jedoch nicht von FLIR Systems hergestellt wurden, gelten, falls vorhanden, die Garantiebestimmungen des entsprechenden Zulieferers. FLIR Systems übernimmt für solche Produkte keinerlei Haftung.

Die Garantie gilt ausschließlich gegenüber dem Erstkäufer und ist nicht übertragbar. Die Garantie entfällt, wenn Produkte nicht bestimmungsgemäß verwendet, nicht ordnungsgemäß gewartet, durch höhere Gewalt beschädigt oder unter nicht vorgesehenen Betriebsbedingungen eingesetzt wurden. Verschleißteile sind von der Garantie ausgeschlossen.

Um zusätzliche Schäden zu vermeiden, darf ein Produkt, welches unter diese Garantie fällt, im Falle eines Fehlers nicht weiter genutzt werden. Der Käufer ist verpflichtet, FLIR Systems jeden aufgetretenen Fehler sofort zu melden. Andernfalls verliert diese Garantie ihre Gültigkeit.

FLIR Systems wird nach eigenem Ermessen jedes fehlerhafte Produkt kostenlos reparieren oder ersetzen, falls sich nach einer Untersuchung des Produkts herausstellt, dass ein Material- oder Herstellungsfehler vorliegt, und das Produkt innerhalb der erwähnten Gewährleistungsfrist an FLIR Systems zurückgegeben wurde.

FLIR Systems übernimmt außer den oben vereinbarten Verpflichtungen und Haftungen keine weiteren Verpflichtungen und Haftungen.

Weitere Garantien sind weder ausdrücklich noch stillschweigend vereinbart. Insbesondere lehnt FLIR Systems alle stillschweigenden Garantien der Handelsfähigkeit oder der Eignung für einen bestimmten Zweck ab.

FLIR Systems haftet nicht für unmittelbare, mittelbare, besondere, beiläufig entstandene Schäden oder Folgeschäden und Verluste, unabhängig davon, ob sich diese aus Verträgen, Haftungen aus unerlaubter Handlung oder sonstigen Rechtsgrundlagen ergeben.

Diese Garantie unterliegt schwedischem Recht.

Jegliche Rechtsstreitigkeiten, Klagen oder Forderungen, die sich aus dieser Garantie ergeben oder damit in Verbindung stehen, werden gemäß den Bestimmungen des Schiedsgerichtsinstituts der Handelskammer Stockholm entschieden. Gerichtsstandort ist Stockholm. Das Schiedsverfahren wird in englischer Sprache durchgeführt.

Bestimmungen der US-amerikanischen Regierung

- Für die in dieser Benutzerdokumentation beschriebenen Produkte ist möglicherweise eine Genehmigung der US-amerikanischen Regierung für den Export/Re-Export oder Transfer erforderlich. Weitere Informationen hierzu erhalten Sie bei FLIR Systems.
- Bei einem Versand der Kamera an Kunden außerhalb der USA werden diese Objektive je nach den geltenden Lizenz- und Exportbestimmungen möglicherweise fest montiert geliefert. Austauschbare Objektive unterliegen den gesetzlichen Bestimmungen des Außenministeriums der Vereinigten Staaten (US Department of State).

Urheberrecht

Qualitätssicherung

Das für die Entwicklung und Herstellung dieser Produkte eingesetzte Qualitätsmanagementsystem wurde nach dem Standard ISO 9001 zertifiziert.

FLIR Systems fühlt sich einer ständigen Weiterentwicklung verpflichtet. Aus diesem Grunde behalten wir uns das Recht vor, an allen in diesem Handbuch beschriebenen Produkten ohne vorherige Ankündigung Änderungen und Verbesserungen vorzunehmen.

Patente

Ein oder mehrere der folgenden Patente oder Geschmacksmuster gelten für die in diesem Handbuch beschriebenen Produkte und/oder Funktionen:

0002258-2; 000279476-0001; 000439161; 000499579-0001; 000653423; 000726344; 000859020; 000889290; 001106306-0001; 001707738; 001707746; 001707787; 001776519; 0101577-5; 0102150-0; 0200629-4; 0300911-5; 0302837-0; 1144833; 1182246; 1182620; 1188086; 1285345; 1287138; 1299699; 1325808; 1336775; 1365299; 1402918; 1404291; 1678485; 1732314; 200530018812.0; 200830143636.7; 2106017; 235308; 3006596; 3006597; 466540; 483782; 484155; 518836; 60004227.8; 60122153.2; 602004011681.5-08; 6707044; 68657; 7034300; 7110035; 7154093; 7157705; 7237946; 7312822; 7332716; 7336823; 7544944; 75530; 7667198; 7809258; 7826736; D540838; D549758; D579475; D584755; D599,392; DI6702302-9; DI6703574-4; DI6803572-1; DI6803853-4; DI6903617-9; DM/057692; DM/061609; ZL00809178.1; ZL01823221.3; ZL01823226.4; ZL02331553.9; ZL02331554.7; ZL200480034894.0; ZL200530120994.2; ZL200630130114.4; ZL200730151141.4; ZL200730339504.7; ZL200830128581.2.

EULA Terms

- You have acquired a device (“INFRARED CAMERA”) that includes software licensed by FLIR Systems AB from Microsoft Licensing, GP or its affiliates (“MS”). Those installed software products of MS origin, as well as associated media, printed materials, and “online” or electronic documentation (“SOFTWARE”) are protected by international intellectual property laws and treaties. The SOFTWARE is licensed, not sold. All rights reserved.
- IF YOU DO NOT AGREE TO THIS END USER LICENSE AGREEMENT (“EULA”), DO NOT USE THE DEVICE OR COPY THE SOFTWARE. INSTEAD, PROMPTLY CONTACT FLIR Systems AB FOR INSTRUCTIONS ON RETURN OF THE UNUSED DEVICE(S) FOR A REFUND. **ANY USE OF THE SOFTWARE, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO USE ON THE DEVICE, WILL CONSTITUTE YOUR AGREEMENT TO THIS EULA (OR RATIFICATION OF ANY PREVIOUS CONSENT).**
- **GRANT OF SOFTWARE LICENSE.** This EULA grants you the following license:
  - You may use the SOFTWARE only on the DEVICE.
  - **NOT FAULT TOLERANT.** THE SOFTWARE IS NOT FAULT TOLERANT. FLIR Systems AB HAS INDEPENDENTLY DETERMINED HOW TO USE THE SOFTWARE IN THE DEVICE, AND MS HAS RELIED UPON FLIR Systems AB TO CONDUCT SUFFICIENT TESTING TO DETERMINE THAT THE SOFTWARE IS SUITABLE FOR SUCH USE.
  - **NO WARRANTIES FOR THE SOFTWARE.** THE SOFTWARE is provided “AS IS” and with all faults. THE ENTIRE RISK AS TO SATISFACTORY QUALITY, PERFORMANCE, ACCURACY, AND EFFORT (INCLUDING LACK OF NEGLIGENCE) IS WITH YOU. ALSO, THERE IS NO WARRANTY AGAINST INTERFERENCE WITH YOUR ENJOYMENT OF THE SOFTWARE OR AGAINST INFRINGEMENT. **IF YOU HAVE RECEIVED ANY WARRANTIES REGARDING THE DEVICE OR THE SOFTWARE, THOSE WARRANTIES DO NOT ORIGINATE FROM, AND ARE NOT BINDING ON, MS.**
  - No Liability for Certain Damages. **EXCEPT AS PROHIBITED BY LAW, MS SHALL HAVE NO LIABILITY FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, CONSEQUENTIAL OR INCIDENTAL DAMAGES ARISING FROM OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THE SOFTWARE. THIS LIMITATION SHALL APPLY EVEN IF ANY REMEDY FAILS OF ITS ESSENTIAL PURPOSE. IN NO EVENT SHALL MS BE LIABLE FOR ANY AMOUNT IN EXCESS OF U.S. TWO HUNDRED FIFTY DOLLARS (U.S.$250.00).**
  - **Limitations on Reverse Engineering, Decompilation, and Disassembly.** You may not reverse engineer, decompile, or disassemble the SOFTWARE, except and only to the extent that such activity is expressly permitted by applicable law notwithstanding this limitation.
  - **SOFTWARE TRANSFER ALLOWED BUT WITH RESTRICTIONS.** You may permanently transfer rights under this EULA only as part of a permanent sale or transfer of the Device, and only if the recipient agrees to this EULA. If the SOFTWARE is an upgrade, any transfer must also include all prior versions of the SOFTWARE.
  - **EXPORT RESTRICTIONS.** You acknowledge that SOFTWARE is subject to U.S. export jurisdiction. You agree to comply with all applicable international and national laws that apply to the SOFTWARE, including the U.S. Export Administration Regulations, as well as end-user, end-use and destination restrictions issued by U.S. and other governments. For additional information see http://www.microsoft.com/exporting/.

Inhaltsverzeichnis

1 Sicherheitshinweise

WARNUNG

- Diese Ausrüstung erzeugt und nutzt elektromagnetische Strahlung und kann diese abstrahlen. Bei unsachgemäßer Installation und Verwendung (entgegen der Bedienungsanleitung) kann sie Funkverbindungen stören. Tests haben ergeben, dass sie den Grenzwerten für Computergeräte der Klasse A gemäß Teil 15, Kapitel J der FCC-Regeln (Subpart J of Part 15 of FCC Rules) entspricht, die beim Einsatz im kommerziellen Bereich einen angemessenen Schutz gegen diese Interferenzen bieten sollen. Der Betrieb dieser Ausrüstung in einem Wohngebiet kann durchaus Interferenzen verursachen; in diesem Fall ist der Benutzer selbst dafür verantwortlich, die erforderlichen Maßnahmen zur Behebung der Interferenz zu ergreifen.
- (Gilt nur für Kameras mit Laserpointer.) Schauen Sie nicht direkt in den Laserstrahl. Der Laserstrahl kann die Augen reizen.
- Gilt nur für Kameras mit Akku:
  - Bauen Sie den Akku niemals auseinander und manipulieren Sie ihn nicht. Der Akku verfügt über Sicherheits- und Schutzmechanismen. Wenn diese beschädigt werden, kann sich der Akku erhitzen, entzünden oder explodieren.
  - Sollten Sie Batterieflüssigkeit in die Augen bekommen, reiben Sie Ihre Augen auf keinen Fall. Spülen Sie sie mit reichlich Wasser aus, und suchen Sie umgehend einen Arzt auf. Ergreifen Sie diese Maßnahmen nicht, kann die Batterieflüssigkeit Ihre Augen ernsthaft verletzen.
  - Wenn der Akku sich nicht innerhalb der angegebenen Zeit auflädt, setzen Sie den Ladevorgang nicht fort. Laden Sie den Akku länger als angegeben, kann dieser heiß werden und explodieren oder sich entzünden.
  - Verwenden Sie zum Entladen des Akkus nur die dafür vorgesehene Ausrüstung. Wenn Sie nicht die dafür vorgesehene Ausrüstung verwenden, kann sich dies negativ auf die Leistung oder die Lebensdauer des Akkus auswirken. Wenn Sie nicht die richtige Ausrüstung verwenden, erhält der Akku möglicherweise eine falsche Spannung. Dadurch kann sich der Akku erhitzen oder gar explodieren und Personen verletzen.
- Lesen Sie unbedingt alle entsprechenden MSDS (Material Safety Data Sheets, Sicherheitsdatenblätter) und Warnhinweise auf den Behältern durch, bevor Sie eine Flüssigkeit verwenden: Flüssigkeiten können gefährlich sein.

VORSICHT

- Richten Sie die Infrarotkamera (mit oder ohne Objektivkappe) niemals auf intensive Strahlungsquellen wie beispielsweise Geräte, die Laserstrahlen abgeben. Richten Sie sie auch nicht auf die Sonne. Dies könnte unerwünschte Auswirkungen auf die Genauigkeit der Kamera haben. Der Detektor in der Kamera könnte sogar beschädigt werden.
- Verwenden Sie die Kamera nicht bei Temperaturen über +50 °C, sofern in der Benutzerdokumentation nicht anders angegeben. Hohe Temperaturen können die Kamera beschädigen.
- (Gilt nur für Kameras mit Laserpointer.) Bedecken Sie den Laserpointer mit der Schutzkappe, wenn Sie ihn nicht verwenden.
- Gilt nur für Kameras mit Akku:

- Schließen Sie die Akkus niemals direkt an einen PKW-Zigarettenanzünder an, es sei denn, es wurde von FLIR Systems ein spezieller Adapter zum Anschließen der Akkus an den Zigarettenanzünder bereitgestellt.
- Überbrücken Sie den Plus- und Minus-Pol eines Akkus niemals mit einem metallischen Gegenstand wie einem Draht.
- Setzen Sie den Akku niemals Wasser oder Salzwasser aus, und lassen Sie ihn nicht nass werden.
- Beschädigen Sie den Akku niemals mit spitzen Gegenständen. Schlagen Sie niemals mit dem Hammer auf den Akku. Treten Sie niemals auf den Akku oder setzen ihn starken Schlägen oder Stößen aus.
- Setzen Sie die Akkus niemals offenem Feuer oder direkter Sonneneinstrahlung aus. Wenn sich der Akku erhitzt, wird der eingebaute Sicherheitsmechanismus aktiviert, der ein weiteres Aufladen des Akkus verhindert. Wenn der Akku heiß wird, kann der Sicherheitsmechanismus beschädigt werden und zur weiteren Erhitzung, Beschädigung oder Entzündung des Akkus führen.
- Setzen Sie den Akku unter keinen Umständen Feuer oder großer Hitze aus.
- Halten Sie den Akku von offenem Feuer, Herdplatten oder anderen Stellen fern, an denen hohe Temperaturen herrschen.
- Versuchen Sie niemals am Akku etwas zu löten.
- Ziehen Sie den Akku aus dem Verkehr, wenn dieser während des Betriebs, Ladens oder Aufbewahrens einen ungewöhnlichen Geruch verströmt, sich heiß anfühlt, sich in Farbe oder Form verändert oder sonstige Anormalitäten aufweist. Wenn eines dieser Symptome auftritt, setzen Sie sich mit Ihrer Vertriebsstelle in Verbindung.
- Verwenden Sie zum Laden des Akkus nur empfohlene Ladegeräte.
- Der Akku muss bei Temperaturen zwischen ±0 °C und +45 °C geladen werden, wenn dies nicht anders in der Benutzerdokumentation angegeben ist. Wenn der Akku bei Temperaturen außerhalb dieses Bereichs geladen wird, kann der Akku heiß werden oder aufbrechen. Außerdem kann dadurch die Leistung und Lebensdauer des Akkus beeinträchtigt werden.
- Das Entladen des Akkus muss bei Temperaturen zwischen −15 °C und +50 °C erfolgen, sofern nicht anderweitig in der Benutzerdokumentation angegeben. Der Einsatz des Akkus bei Temperaturen außerhalb des angegebenen Bereichs kann die Leistung und Lebensdauer des Akkus beeinträchtigen.
- Wenn der Akku defekt ist, isolieren Sie die Pole vor der Entsorgung mit Klebeband oder etwas Ähnlichem.
- Sollte der Akku Feuchtigkeit aufweisen, entfernen Sie diese vor dem Einsetzen.

- Verwenden Sie niemals Verdünnungsmittel oder ähnliche Flüssigkeiten für Kamera, Kabel oder Zubehör. Dies könnte zu Beschädigungen führen.
- Gehen Sie bei der Reinigung des Infrarotobjektivs behutsam vor. Das Objektiv ist mittels einer Beschichtung entspiegelt, die sehr empfindlich ist.
- Reinigen Sie das Infrarotobjektiv sehr vorsichtig, da andernfalls die Entspiegelung Schaden nehmen könnte.
- Bei Anwendungen in der Nähe von Öfen oder in anderen Hochtemperaturumgebungen müssen Sie einen Hitzeschild an der Kamera befestigen. Die Verwendung der Kamera in der Nähe von Öfen oder in anderen Hochtemperaturumgebungen ohne einen Hitzeschild kann die Kamera beschädigen.

- (Diese Art der Reinigung funktioniert nur bei Kameras mit deaktivierbarem automatischem Shutter.) Deaktivieren Sie den automatischen Shutter Ihrer Kamera höchstens für 30 Minuten. Eine längere Deaktivierung kann den Detektor beschädigen oder völlig unbrauchbar machen.
- Die Gehäuseschutzklassifizierung ist nur gültig, wenn alle Öffnungen Ihrer Kamera mit den entsprechenden Abdeckungen, Klappen oder Kappen verschlossen sind. Dies gilt auch, aber nicht ausschließlich, für die Fächer der Speichermedien, Akkus und Anschlüsse.

2 Hinweise für Benutzer

Typografische Konventionen

In diesem Handbuch gelten die folgenden typografischen Konventionen:

- **Halbfett** wird für Menünamen, Menübefehle sowie Elemente und Schaltflächen in Dialogfeldern verwendet.
- *Kursiv* wird für wichtige Informationen verwendet.
- `Monospace` wird für Codebeispiele verwendet.
- GROSSBUCHSTABEN werden für Tastenbezeichnungen verwendet.

Benutzerforen

In unseren Benutzerforen können Sie sich mit anderen Thermografen auf der ganzen Welt über Ideen, Probleme und Infrarotlösungen austauschen. Die Foren finden Sie hier:

http://www.infraredtraining.com/community/boards/

Kalibrierung

(Diese Anmerkung gilt nur für Kameras mit Messfunktionen.)

Wir empfehlen, die Kamera einmal pro Jahr zur Kalibrierung einzusenden. Wenden Sie sich an Ihre Vertriebsstelle, um entsprechende Informationen zu erhalten.

Genauigkeit

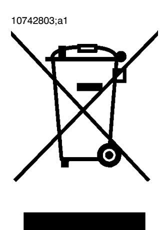
(Diese Anmerkung gilt nur für Kameras mit Messfunktionen.)

Um sehr genaue Ergebnisse zu erzielen, sollten Sie erst 5 Minuten nach dem Einschalten der Kamera eine Temperaturmessung vornehmen.

Im Falle von Kameras, bei denen der Detektor mechanisch gekühlt wird, umfasst dieser Zeitraum nicht die Zeit, in der der Detektor heruntergekühlt wird.

Enstorgung elektronischer Geräte

10742803;a1



Dieses Gerät muss wie die meisten anderen elektronischen Geräte auf umweltfreundliche Weise und gemäß den geltenden Bestimmungen für elektronische Geräte entsorgt werden.

Weitere Informationen erhalten Sie bei Ihrem FLIR Systems-Ansprechpartner.

Schulung

Informationen zu Schulungen im Bereich Infrarottechnik finden Sie hier:

- http://www.infraredtraining.com
- http://www.irtraining.com
- http://www.irtraining.eu

3 Hilfe für Kunden

Allgemein

Die Kundenhilfe finden Sie hier:

http://support.flir.com

Fragen stellen

Um eine Frage an das Team der Kundenhilfe stellen zu können, müssen Sie sich als Benutzer registrieren. Die Online-Registrierung nimmt nur wenige Minuten in Anspruch. Sie müssen kein registrierter Benutzer sein, um in der Informationsdatenbank nach vorhandenen Fragen und Antworten suchen zu können.

Wenn Sie eine Frage stellen möchten, sollten Sie folgende Informationen zur Hand haben:

- Kameramodell
- Seriennummer der Kamera
- Kommunikationsmodell oder -methode zwischen Kamera und PC (z. B. HDMI Ethernet, USB™ oder FireWire™)
- Betriebssystem Ihres Computers
- Version von Microsoft® Office
- Vollständiger Name, Veröffentlichungs- und Revisionsnummer des Handbuchs

Downloads

Darüber hinaus sind auf der Website der Kundenhilfe folgende Downloads verfügbar:

- Firmware-Updates für Ihre Infrarotkamera
- Programm-Updates für Ihre PC-Software
- Benutzerdokumentation
- Anwendungsberichte
- Technische Veröffentlichungen

4 Aktualisierung der Dokumentation

Allgemein

Unsere Handbücher werden mehrmals jährlich aktualisiert. Zudem veröffentlichen wir regelmäßig auch wichtige Änderungsmitteilungen zu Produkten.

Die neuesten Handbücher und Mitteilungen finden Sie auf der Registerkarte Download unter:

http://support.flir.com

Die Online-Registrierung dauert nur wenige Minuten. Im Download-Bereich finden Sie auch die neuesten Versionen von Handbüchern unserer anderen Produkte sowie Handbücher für historische und ausgelaufene Modelle.

5 Wichtiger Hinweis zu diesem Handbuch

Allgemein

FLIR Systems veröffentlicht generische Handbücher, die sich auf mehrere Kameras einer Modellreihe beziehen.

Das bedeutet, dass dieses Handbuch Beschreibungen und Erläuterungen enthalten kann, die möglicherweise nicht auf Ihr Kameramodell zutreffen.

HINWEIS

FLIR Systems behält sich das Recht vor, die Herstellung von Modellen, Software, Teilen, Zubehör und anderen Artikeln ohne vorherige Ankündigung einzustellen und/oder deren Funktionen zu ändern.

6 Teilelisten

6.1 Lieferumfang

Inhalt

- Infrarotkamera mit Objektiv
- Hartschalenkoffer
- Akku (2*)
- Bluetooth-Headset*
- Kalibrierungsnachweis
- CD-ROM mit PC-Software FLIR Tools
- Trageschlaufe
- Objektivkappe
- Speicherkarte
- Netzteil mit Mehrfachsteckern
- Druckversion des Handbuchs "Erste Schritte"
- Druckversion des Handbuchs "Wichtige Informationen"
- USB-Kabel
- Benutzerdokumentation auf CD-ROM
- Videokabel
- Karte für Garantieverlängerung oder Registrierung

* Abhängig von Kameramodell/Kundenwunsch.

HINWEIS

FLIR Systems behält sich das Recht vor, die Herstellung von Modellen, Teilen, Zubehör und anderen Artikeln ohne vorherige Ankündigung einzustellen oder deren Spezifikationen zu ändern.

6.2 Liste des Zubehörs und der Serviceleistungen

Allgemein

Dieser Abschnitt enthält eine Liste mit dem für die Kamera erhältlichen Zubehör und den verfügbaren Serviceleistungen.

Zubehör und Serviceleistungen

- 1196497 Adaptersatz für Zigarettenanzünder, 12 VDC, 1,2 m
- 1196960 IR-Objektiv f = 10 mm, 45° mit Hülle
- 1196961 IR-Objektiv f = 30 mm, 15° mit Hülle
- 1910423 USB-Kabel Std. A zu Mini B
- 1910582 Videokabel
- ITC-ADV-3011 ITC Gebäude für Fortgeschrittene – 1 Teilnehmer
- ITC-ADV-3019 ITC Gebäude für Fortgeschrittene – 10 Teilnehmer
- ITC-ADV-3021 ITC Fortgeschrittenenkurs Allgemeine Thermografie – 1 Teilnehmer
- ITC-ADV-3029 ITC Fortgeschrittenenkurs Allgemeine Thermografie – 10 Teilnehmer
- ITC-CER-5101 ITC Thermografiekurs Stufe 1 – 1 Teilnehmer
- ITC-CER-5109 ITC Thermografiekurs Stufe 1 – 10 Teilnehmer
- ITC-CER-5201 ITC Thermografiekurs Stufe 2 – 1 Teilnehmer
- ITC-CER-5209 ITC Thermografiekurs Stufe 2 – 10 Teilnehmer
- T197453 FLIR ResearchIR 1.2
- T197453L10 FLIR ResearchIR 1.2 mit 10 Lizenzen
- T197453L5 FLIR ResearchIR 1.2 mit 5 Lizenzen
- T197454 FLIR QuickPlot 1.2
- T197454L10 FLIR QuickPlot 1.2 mit 10 Lizenzen
- T197454L5 FLIR QuickPlot 1.2 mit 5 Lizenzen
- T197717 FLIR Reporter 8.5 SP2 Professional
- T197717L10 FLIR Reporter 8.5 SP2 Professional mit 10 Lizenzen
- T197717L5 FLIR Reporter 8.5 SP2 Professional mit 5 Lizenzen
- T197771 Bluetooth-Headset
- T197778 FLIR BuildIR 2.1
- T197778L10 FLIR BuildIR 2.1 mit 10 Lizenzen
- T197778L5 FLIR BuildIR 2.1 mit 5 Lizenzen
- T910737 Micro-SD-Speicherkarte mit Adaptern
- T910972 EX845: Stromzange + IR-Thermometer TRMS 1000 A AC/DC
- T910973 MO297: Feuchtemesser ohne Messspitzen, mit Speicher

HINWEIS

FLIR Systems behält sich das Recht vor, die Herstellung von Modellen, Teilen, Zubehör und anderen Artikeln ohne vorherige Ankündigung einzustellen oder deren Spezifikationen zu ändern.

7 Schnelleinstieg

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um die Kamera umgehend in Betrieb zu nehmen:

1	Setzen Sie einen Akku in das Akkufach ein.
2	Laden Sie vor dem erstmaligen Starten der Kamera den Akku 4 Stunden lang auf oder bis die LED-Akkuanzeige kontinuierlich grün leuchtet.
3	Legen Sie eine Speicherkarte in einen Kartensteckplatz ein.
4	Drücken Sie die ⏻-Taste, um die Kamera einzuschalten.
5	Richten Sie die Kamera auf das gewünschte Objekt.
6	Stellen Sie den Fokus der Kamera durch Drehen des Fokusrings ein.
7	Betätigen Sie den Auslöser und halten Sie ihn länger als 1 Sekunde gedrückt, um direkt ein Bild zu speichern.
8	Um ein Bild auf einen Computer zu übertragen, führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Entnehmen Sie die Speicherkarte, und legen Sie sie in ein Kartenlesegerät ein, das an einen Computer angeschlossen ist. ▪ Verbinden Sie die Kamera mit Hilfe eines USB-Mini-B-Kabels mit einem Computer.
9	Verschieben Sie das Bild per Drag und Drop von der Karte oder Kamera.

HINWEIS

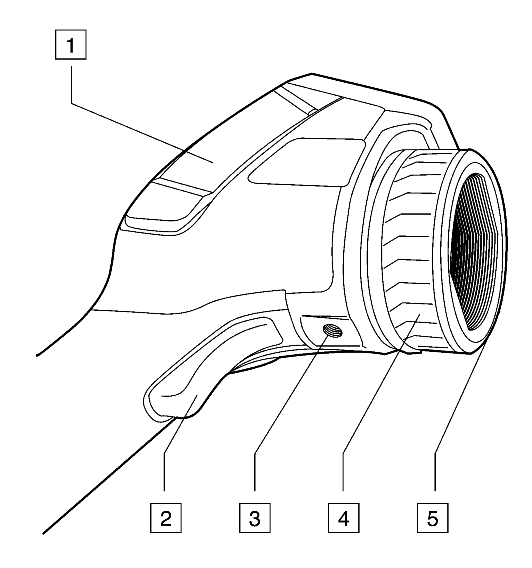
Sie können die Bilder auch mit FLIR Tools auf den Computer verschieben. Die Software ist im Lieferumfang der Kamera enthalten.

8 Kamerateile

8.1 Ansicht von rechts

Abbildung

T638786;a1



Erläuterung

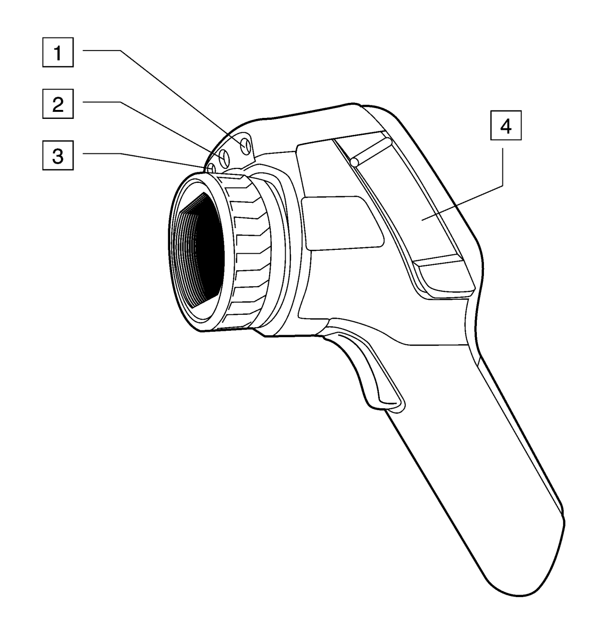
Die folgende Tabelle enthält Informationen zur oben stehenden Abbildung:

1	Abdeckung für rechtes Anschlussfach: ▪ USB-A ▪ USB Mini B ▪ Power
2	Trigger-Taste zum Anzeigen/Speichern von Bildern
3	Stativbefestigung. Adapter erforderlich (als Zubehör erhältlich).
4	Fokusring
5	Infrarotobjektiv

8.2 Ansicht von links

Abbildung

T638790;a1



Erläuterung

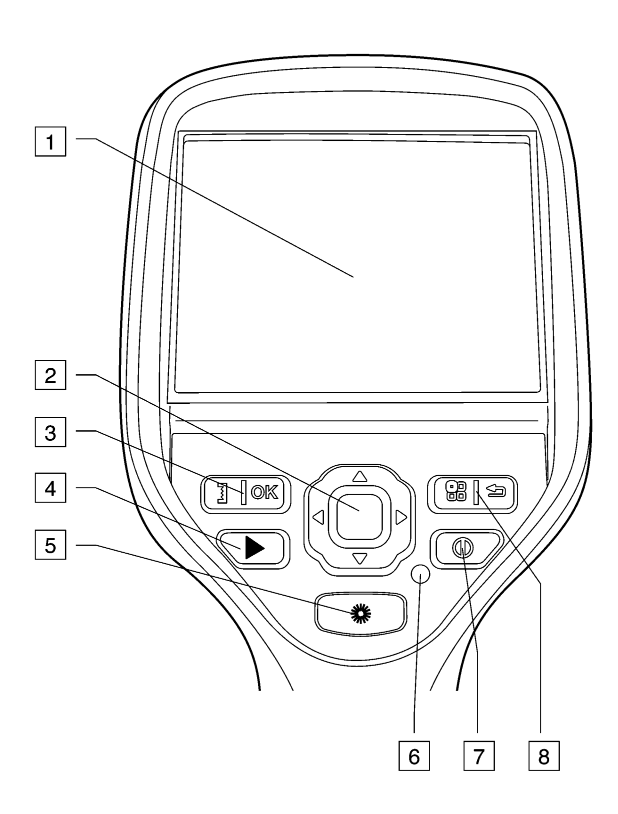
Die folgende Tabelle enthält Informationen zur oben stehenden Abbildung:

1	Laserpointer
2	Lampe für die Digitalkamera
3	Digitalkamera
4	Abdeckung für Anschlüsse und Speichermedien: ■ Speicherkarte ■ Videoausgang

8.3 Tastatur

Abbildung

T638787;a2



Erläuterung

Bildbeschreibung:

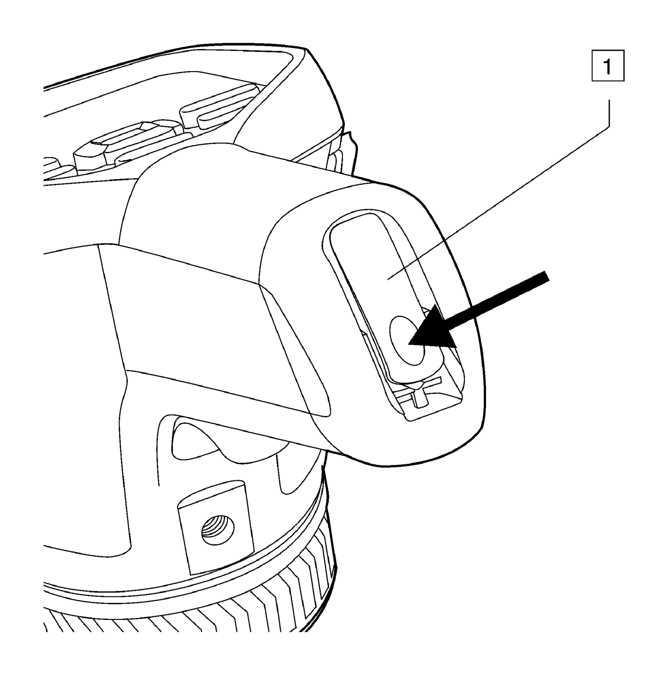
1	LCD-Display mit Touchscreen
2	Navigationstaste
3	■ Taste zur Auswahlbestätigung ■ Taste zum Umschalten zwischen den Modi für automatische und manuelle Anpassung
4	Bildarchiv
5	Taste zum Bedienen des Laserpointers
6	Netzanzeige
7	Ein/Aus-Taste

8	■ Taste zum Anzeigen des Menüsystems ■ Zurück-Taste

8.4 Ansicht von unten

Abbildung

T638785;a3



Erläuterung

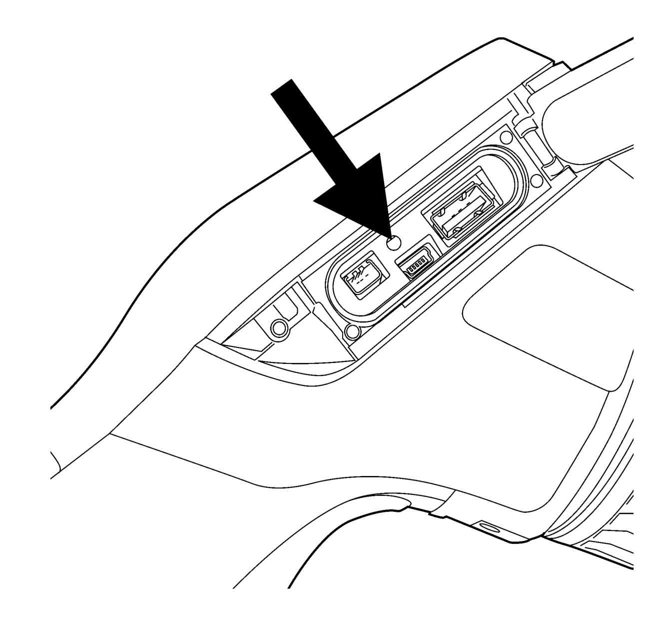
Die folgende Tabelle enthält Informationen zur oben stehenden Abbildung:

1	Verriegelung der Akkufach-Abdeckung. Zum Öffnen drücken.

8.5 LED-Akkuanzeige

Abbildung

T638791;a1



Erläuterung

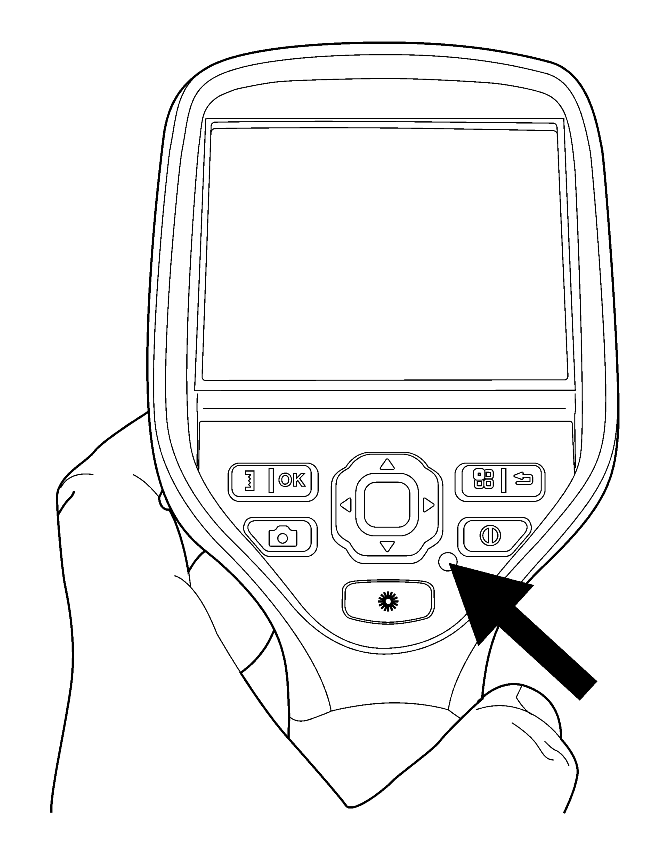
Die folgende Tabelle erläutert die LED-Akkuanzeige:

Signaltyp	Erläuterung
Die grüne LED blinkt zwei Mal pro Sekunde.	Der Akku wird gerade geladen.
Die grüne LED leuchtet durchgängig.	Der Akku ist vollständig aufgeladen.

8.6 LED-Netzanzeige

Abbildung

T638781;a1



Erläuterung

Die folgende Tabelle erläutert die LED-Netzanzeige:

Signaltyp	**Erläuterung**
Die LED leuchtet nicht.	Die Kamera ist ausgeschaltet.
Die LED leuchtet blau.	Die Kamera ist eingeschaltet.

8.7 Laserpointer

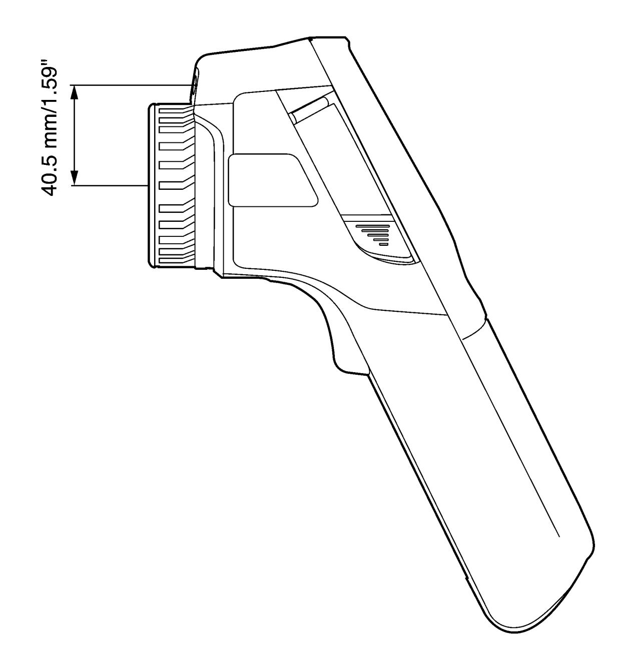
Allgemein

Die Kamera verfügt über einen Laserpointer. Wenn der Laserpointer eingeschaltet ist, sehen Sie über dem Zielobjekt einen Laserpunkt.

Abbildung

Die folgende Abbildung zeigt den Abstand zwischen dem Laserpointer und der optischen Mitte des Infrarotobjektivs:

T638771;a1



WARNUNG

Schauen Sie nicht direkt in den Laserstrahl. Der Laserstrahl kann die Augen reizen.

HINWEIS

- Das Symbol ⚠ wird auf dem Bildschirm angezeigt, wenn der Laserpointer eingeschaltet ist.
- Der Laserpointer ist möglicherweise nicht für alle Märkte verfügbar.

Laserwarnhinweis

An der Kamera ist folgender Laserwarnhinweis angebracht:

10743603;a2



Bestimmungen bezüglich des Lasers

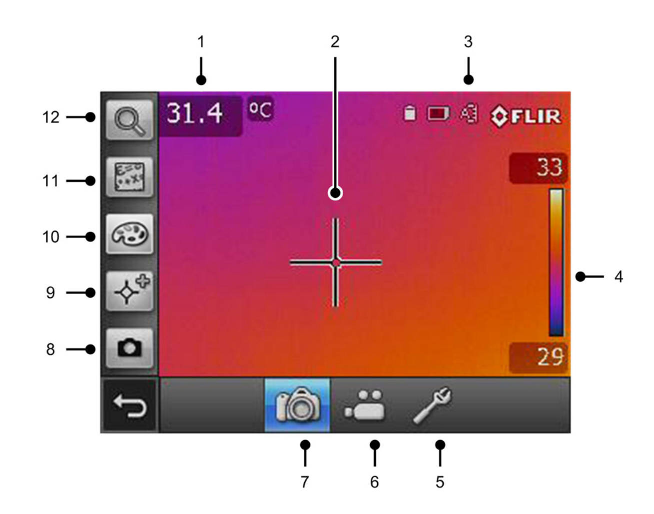
Wellenlänge: 635 nm. Maximale Ausgangsleistung: 1 mW.

Dieses Produkt entspricht 21 CFR 1040.10 und 1040.11 mit Ausnahme von Abweichungen gemäß Laser Notice No. 50 vom 24. Juni 2007.

9 Bildschirmelemente

Abbildung

T638713;a3



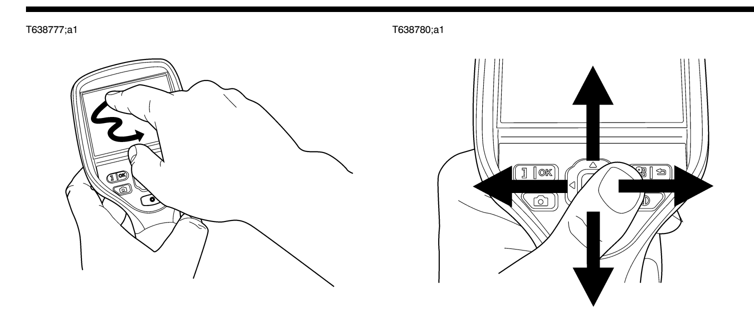
Erläuterung

Die folgende Tabelle erläutert die Abbildung oben:

1	Tabelle mit Messergebnissen
2	Messwerkzeuge (z. B. Messpunkt)
3	Status- und Modussymbole
4	Temperaturskala
5	Setup-Modus
6	Aufnahme im Videomodus
7	Kameramodus/Live-Bildmodus
8	Anzeigemodus (IR-Kamera, Digitalkamera, thermische Fusion, Picture in Picture)
9	Messwerkzeuge
10	Farbpaletten
11	Messparameter
12	Zoom

10 Navigieren im Menüsystem

Abbildung



Erläuterung

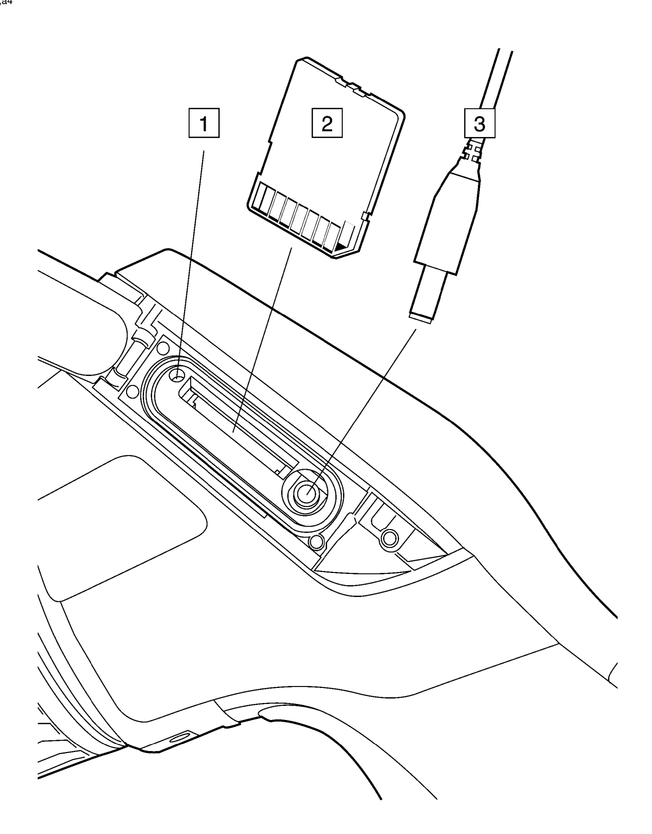
In obiger Abbildung sehen Sie zwei Möglichkeiten, wie Sie durch das Menüsystem der Kamera navigieren können:

- Verwenden des Zeigefingers zum Navigieren durch das Menüsystem (links)
- Verwenden der Navigationstaste zum Navigieren durch das Menüsystem (rechts)

11 Verbinden externer Geräte und Speichermedien

Abbildung

T638789;a4



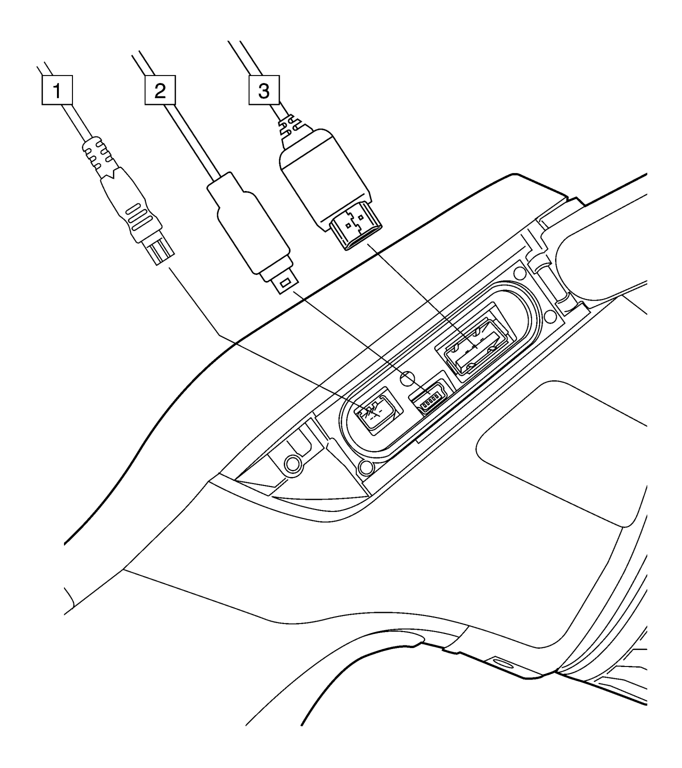
Erläuterung

Die folgende Tabelle enthält Informationen zur oben stehenden Abbildung:

1	Anzeige, die angibt, dass gerade auf die Speicherkarte zugegriffen wird. **Hinweis**: Entfernen Sie Speicherkarte nicht, wenn die Anzeige leuchtet.
2	Speicherkarte
3	Headset-Kabel

Abbildung

T638788;a1



Erläuterung

Die folgende Tabelle enthält Informationen zur oben stehenden Abbildung:

1	Netzkabel
2	USB-Mini-B-Kabel (zum Verbinden der Kamera mit einem Computer)
3	USB-A-Kabel (zum Verbinden der Kamera mit einem externen Gerät, z. B. einem USB-Memory-Stick)

12 Verbinden von Bluetooth-Geräten

Allgemein

Bevor Sie ein Bluetooth-Gerät zusammen mit Ihrer Kamera verwenden können, müssen Sie die Geräte miteinander verbinden.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Wechseln Sie zu (**Einstellungen**).
2	Wechseln Sie zur Registerkarte **Verbindungen**.
3	Aktivieren Sie **Bluetooth**. **Hinweis**: Sie müssen auch die Bluetooth-Verbindung des externen Geräts aktivieren.
4	Wählen Sie **Bluetooth-Gerät hinzufügen**.
5	Wählen Sie **Nach Bluetooth-Geräten suchen** aus, und warten Sie, bis eine Liste der verfügbaren Geräte angezeigt wird. Dies dauert etwa 15 Sekunden.
6	Wenn ein Bluetooth-Gerät gefunden wird, wählen Sie dieses Gerät aus, um es hinzuzufügen. Das Gerät kann jetzt verwendet werden.

HINWEIS

- Es können mehrere Geräte hinzugefügt werden.
- Ein hinzugefügtes Gerät kann entfernt werden, indem Sie erst das Gerät und dann **Entfernen** auswählen.
- Wenn ein MeterLink-Gerät hinzugefügt wurde, wie beispielsweise das Extech MO297 oder das EX845, wird das Messergebnis in der Tabelle mit den Messergebnissen angezeigt.
- Wenn ein Headset mit aktiviertem Bluetooth hinzugefügt wurde, kann es im Modus "Kameravorschau" verwendet werden.
- Im Vorschaumodus können auch Werte von Live-Schnappschüssen hinzugefügt werden.

13 Konfigurieren von WLAN

Allgemein

Abhängig von der Kamerakonfiguration können Sie die Kamera mit einem WLAN verbinden oder mit der Kamera einen WLAN-Zugriff auf ein anderes Gerät herstellen.

Eine Verbindung der Kamera kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen:

- *Häufig genutzte Verbindungsart*: Durch Einrichten einer Peer-to-Peer-Verbindung (auch *Ad-hoc*- oder *P2P*-Verbindung genannt). Dieses Verfahren wird hauptsächlich bei einer Verbindung zu anderen Geräten wie einem iPhone oder einem iPad verwendet.
- *Weniger häufig genutzte Verbindungsart:* Verbindung der Kamera mit einem WLAN

Einrichten einer Peer-to-Peer-Verbindung (*häufig genutzte Verbindungsart*)

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Wechseln Sie zu (**Einstellungen**).
2	Wechseln Sie zur Registerkarte **Verbindungen**.
3	Wählen Sie unter **WLAN** die Option **Gerät verbinden** aus.
4	Wählen Sie die Option **WLAN-Einstellungen** aus.
5	Geben Sie Werte für folgende Parameter ein: ▪ **SSID** (der Name des Netzwerks) ▪ **Kanal** (der Kanal, auf dem das andere Gerät überträgt) ▪ **Verschlüsselung** (der Verschlüsselungsalgorithmus, z. B. TKIP, AES) ▪ **Schlüssel** (der Zugangsschlüssel für das Netzwerk) ▪ **Adresse** (die IP-Adresse des Netzwerks) ▪ **Gateway** (die Gateway-IP-Adresse des Netzwerks) **Hinweis:** Diese Parameter werden für das Netzwerk der Kamera festgelegt. Sie werden von dem externen Geräte verwendet, um das Gerät mit dem Netzwerk zu verbinden.
6	Drücken Sie zur Bestätigung der Auswahl OK.

Verbinden der Kamera mit einem WLAN (*weniger häufig genutzte Verbindungsart*)

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Wechseln Sie zu (**Einstellungen**).
2	Wechseln Sie zur Registerkarte **Verbindungen**.
3	Wählen Sie unter **WLAN** die Option **Mit WLAN verbinden** aus.
4	Wählen Sie die Option **WLAN-Einstellungen** aus.
5	Wählen Sie eines der verfügbaren Netzwerk aus. Kennwortgeschützte Netzwerke werden mit einem Schlosssymbol gekennzeichnet. Für diese ist ein Zugriffsschlüssel erforderlich.

6	Drücken Sie zur Bestätigung der Auswahl [OK].

HINWEIS Manche Netzwerke bleiben absichtlich verborgen. Um eine Verbindung mit solch einem Netzwerk herzustellen, wählen Sie **Manuell hinzufügen** aus, und legen Sie alle Parameter für das Netzwerk manuell fest.

14 Umgang mit der Kamera

14.1 *Einschalten der Kamera*

Vorgehensweise

Um die Kamera einzuschalten, drücken Sie die ⏽-Taste.

14.2 *Ausschalten der Kamera*

Vorgehensweise

Um die Kamera auszuschalten, halten Sie die ⏽-Taste länger als 0,2 Sekunden gedrückt.

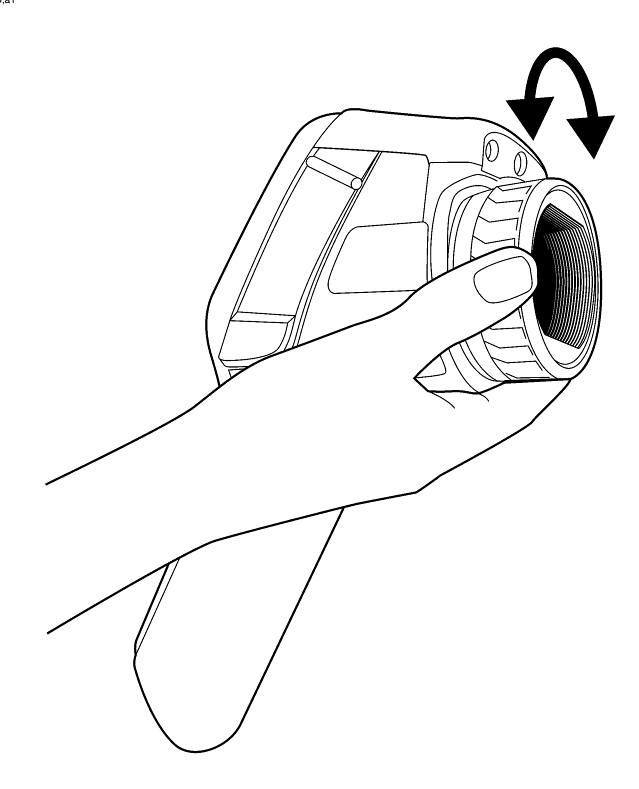
14.3 Manuelles Scharfstellen der Infrarotkamera

HINWEIS

- Berühren Sie beim manuellen Scharfstellen der Infrarotkamera nicht die Objektivoberfläche. Sollten Sie die Objektivoberfläche berührt haben, reinigen Sie das Objektiv gemäß den Anweisungen in Abschnitt 23.2 – Infrarotobjektiv auf Seite 63.
- Der Fokusring kann unendlich gedreht werden, für das Scharfstellen ist jedoch nur eine geringe Drehung erforderlich.

Abbildung

T638779;a1



Vorgehensweise

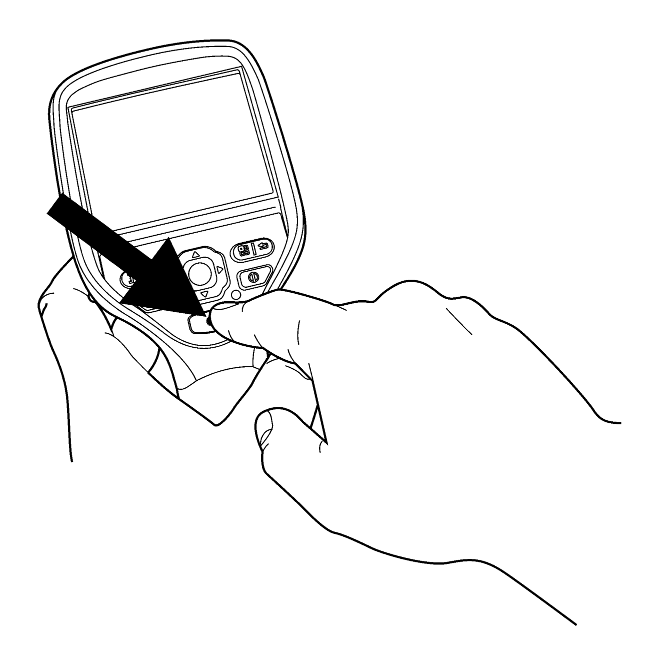
Sie haben folgende Möglichkeiten:

- Für die Ferneinstellung drehen Sie den Fokusring gegen den Uhrzeigersinn (vom LCD-Display mit Touchscreen aus betrachtet).
- Für die Naheinstellung drehen Sie den Fokusring im Uhrzeigersinn (vom LCD-Display mit Touchscreen aus betrachtet).

14.4 Bedienung des Laserpointers

Abbildung

T638778;a1



Vorgehensweise

Um den Laserpointer zu verwenden, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Um den Laserpointer einzuschalten, halten Sie die Lasertaste gedrückt.
2	Um den Laserpointer auszuschalten, lassen Sie die Lasertaste los.

HINWEIS

- Auf dem Bildschirm wird eine Warnanzeige eingeblendet, wenn der Laserpointer eingeschaltet ist.
- Die Position des Laserpunkts wird auf dem Infrarotbild angezeigt (abhängig vom Kameramodell).

15 Arbeiten mit Bildern

15.1 Bildvorschau

Allgemein

Sie können ein Infrarotbild oder Digitalbild in der Vorschau anzeigen, bevor Sie es auf eine Speicherkarte speichern. So können Sie vor dem Speichern feststellen, ob das Bild oder Foto die gewünschten Informationen enthält.

Im Vorschaumodus können Sie das Bild auch vor dem Speichern bearbeiten und Kommentare hinzufügen.

Vorgehensweise

Um ein Bild in der Vorschau anzuzeigen, drücken Sie kurz die Trigger-Taste, und lassen Sie sie wieder los.

HINWEIS

Die Funktion der Trigger-Taste kann unter (**Einstellungen**) geändert werden. Es stehen folgende Funktionen zur Wahl:

- Vorschau/Speichern
- Direkt speichern
- Immer Vorschau

15.2 Speichern von Bildern

Allgemein

Ein Bild kann direkt gespeichert werden, ohne es zunächst in der Vorschau anzuzeigen.

Speicherkapazität

Diese Tabelle gibt eine Übersicht darüber, wie viele Infrarot-Bilder (IR) und wie viele Digitalkamera-Bilder (DK) *ungefähr* auf Speicherkarten gespeichert werden können:

Kartengröße	Nur IR	IR + DK	IR + DK + 30 Sekunden Sprachkommentar
1 GB	5500	850	600
2 GB	11 000	1700	1200

Benennungskonventionen

Bilder werden standardmäßig mit **IR_xxxx.jpg** benannt, wobei **xxxx** für die automatische Durchnummerierung steht.

Vorgehensweise

Um ein Bild direkt zu speichern, drücken Sie die Trigger-Taste, und halten Sie sie länger als 1 Sekunde gedrückt.

HINWEIS

Die Funktion der Trigger-Taste kann im Menü **Einstellungen** geändert werden. Es stehen folgende Funktionen zur Wahl:

- Vorschau/Speichern
- Direkt speichern
- Immer Vorschau

15.3 Öffnen von Bildern

Allgemein

Wenn Sie ein Bild speichern, wird es auf einer Speicherkarte gespeichert. Um das Bild erneut anzuzeigen, öffnen Sie es über die Speicherkarte.

Vorgehensweise

Um ein Bild zu öffnen, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie auf ▶.
2	Drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten bzw. rechts/links, um das Bild auszuwählen, das Sie öffnen möchten.
3	Drücken Sie auf OK. Daraufhin wird das Bild in voller Größer angezeigt.
4	Um das geöffnete Bild zu bearbeiten, drücken Sie die OK-Taste. Daraufhin wird ein Menü geöffnet.

Publ. No. T559651 Rev. a540 – GERMAN (DE) – May 25, 2011

15.4 Anpassen von Bildern

Allgemein

Ein Bild kann *automatisch* oder *manuell* eingestellt werden. Mit der [OK]-Taste wechseln Sie zwischen diesen beiden Modi. Beachten Sie, dass dies nur im Live-Modus und nicht im Vorschau/Archivmodus möglich ist.

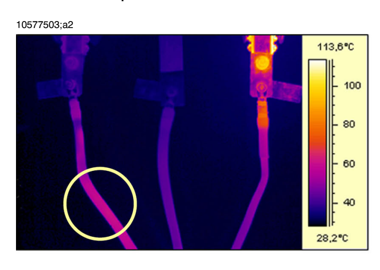
Beispiel 1

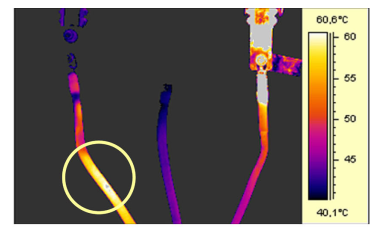
Diese Abbildung zeigt zwei Infrarotbilder von Kabelanschlüssen. Eine korrekte Analyse des linken Kabels wäre im Bild links unten schwierig, wenn Sie das Bild nur automatisch einstellen. Sie können das linke Kabel genauer analysieren, wenn Sie

- den Level der Temperaturskala ändern
- den Span der Temperaturskala ändern

Das Bild links wurde automatisch eingestellt. Im Bild rechts wurden die Werte für die maximale und die minimale Temperatur an die nähere Umgebung des Objekts angepasst. An den Temperaturskalen rechts neben den beiden Bildern können Sie sehen, wie die Temperaturwerte verändert wurden.

10577503;a2



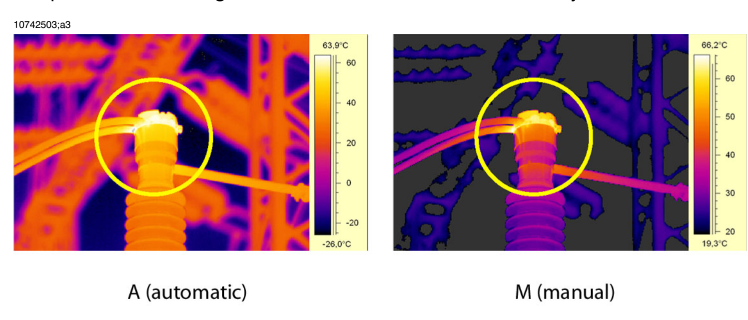


A (automatic) M (manual)

Beispiel 2

Diese Abbildung zeigt zwei Infrarotbilder eines Trennschalters.

Im Bild links wurden der kalte Himmel und der Strommast mit einer minimalen Temperatur von -26,0 °C aufgezeichnet. Im Bild rechts wurden die Werte für die maximale und die minimale Temperatur an die nähere Umgebung des Trennschalters angepasst. Temperaturschwankungen am Schalter können so leichter analysiert werden.



Ändern der Werte der Temperaturskala

Um den Level der Temperaturskala zu ändern, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie auf OK.
2	Wählen Sie mit der Navigationstaste (**Manuell**) aus.
3	Um die Temperaturskala zu ändern, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.

Ändern des Span der Temperaturskala

Um den Span der Temperaturskala zu ändern, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie auf OK.
2	Wählen Sie mit der Navigationstaste (**Manuell**) aus.
3	Um den Temperatur-Span zu ändern, drücken Sie die Navigationstaste nach rechts/links.

HINWEIS

Diese Vorgehensweise gilt nur für den Live-Bildmodus.

15.5 Ändern der Palette

Allgemein

Sie können die Farbpalette ändern, mit der die Kamera die verschiedenen Temperaturen anzeigt. Eine andere Palette kann die Analyse eines Bildes erleichtern.

Vorgehensweise

Um die Palette zu ändern, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie , um das Menüsystem anzuzeigen.
2	Drücken Sie den Joystick, um zu zu wechseln.
3	Drücken Sie OK, um ein Untermenü anzuzeigen.
4	Wählen Sie mit der Navigationstaste eine andere Palette aus.
5	Drücken Sie auf OK.

15.6 Löschen von Bildern

Allgemein

Sie können eines oder mehrere Bilder aus einem Ordner löschen.

Vorgehensweise

Um ein Bild zu löschen, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie auf ▶.
2	Drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten bzw. rechts/links, um das zu löschende Bild auszuwählen.
3	Drücken Sie OK, um das Bild anzuzeigen.
4	Drücken Sie OK, um ein Menü anzuzeigen.
5	Wählen Sie im Menü **Löschen** aus, und bestätigen Sie die Auswahl.

HINWEIS

Beachten Sie, dass alle Bilder in derselben Gruppe, so wie beispielsweise Digitalfotos, ebenfalls gelöscht werden.

15.7 Löschen aller Bilder

Allgemein

Es können alle Bilder in einem Ordner gelöscht werden.

Vorgehensweise

Um ein Bild zu löschen, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie auf ▶.
2	Drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten bzw. rechts/links, um ein Bild auszuwählen.
3	Drücken Sie OK, um das Bild anzuzeigen.
4	Drücken Sie OK, um ein Menü anzuzeigen.
5	Wählen Sie im Menü **Alle löschen** aus, und bestätigen Sie die Auswahl.

15.8 Erstellen von PDF-Berichten mit der Kamera

Allgemein

Mit der Kamera können PDF-Berichte erstellt werden. Anschließend können die PDF-Berichte mit der App FLIR Viewer an einen Computer, ein iPhone oder ein iPad übertragen sowie an Kunden gesendet werden.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um einen PDF-Bericht zu erstellen:

1	Drücken Sie auf [▶].
2	Drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten bzw. rechts/links, um ein Bild auszuwählen.
3	Drücken Sie [OK], um das Bild anzuzeigen.
4	Drücken Sie [OK], um ein Menü anzuzeigen.
5	Wählen Sie im Menü **Berichtsseite erstellen** aus. Es wird ein Menü angezeigt, in dem Sie folgende Elemente ändern können: ■ Header ■ Footer ■ Logo (Das Logo muss sich im Format *.jpg im Verzeichnis /report/logo/ befinden.)
6	Wählen Sie im Menü **Berichtsseite erstellen** aus.

16 Arbeiten mit den Bildmodi "Thermische Fusion" und "Picture in Picture"

Was ist eine thermische Fusion?

Die thermische Fusion ist eine Funktion, mit der Sie einen Teil eines Digitalfotos als Infrarotbild anzeigen können.

Sie können die Kamera beispielsweise so einrichten, dass alle Bereiche eines Bildes mit einer bestimmten Temperatur in Infrarot angezeigt werden. Die verbleibenden Bereiche werden als Digitalfoto angezeigt.

Was ist Picture in Picture?

Picture in Picture ist mit der thermischen Fusion vergleichbar, da ein Teil eines Digitalfotos als Infrarotbild angezeigt wird.

Der Unterschied liegt jedoch darin, dass bei Picture in Picture über dem Digitalfoto ein Infrarotbildrahmen angezeigt wird.

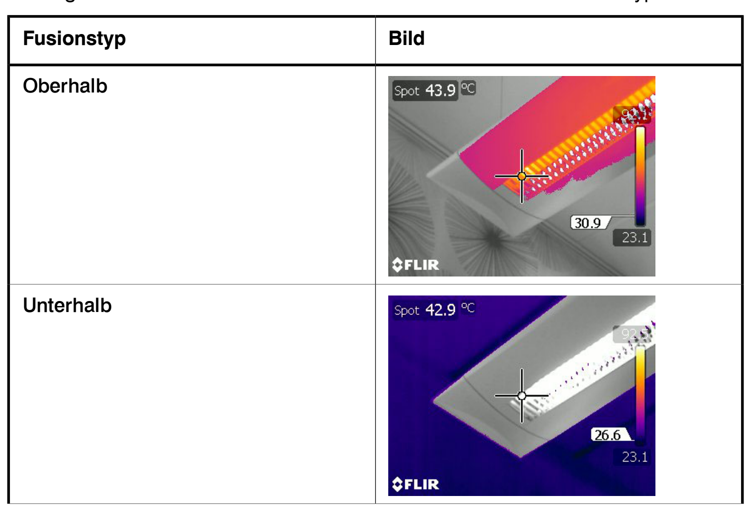
Typen

Je nach Kameramodell sind bis zu vier verschiedene Typen verfügbar:

- **Oberhalb**: Alle Bereiche des Digitalfotos, deren Temperatur über dem festgelegten Temperaturwert liegt, werden als Infrarotbild angezeigt.
- **Unterhalb**: Alle Bereiche des Digitalfotos, deren Temperatur unter dem festgelegten Temperaturwert liegt, werden als Infrarotbild angezeigt.
- **Intervall**: Alle Bereiche des Digitalfotos, deren Temperatur zwischen zwei festgelegten Temperaturwerten liegt, werden als Infrarotbild angezeigt.
- **Picture In Picture**: Über dem Digitalfoto wird ein Infrarotbildrahmen angezeigt.

Bildbeispiele

Die folgende Tabelle enthält Informationen zu den vier verschiedenen Typen:

Fusionstyp	Bild
Oberhalb	
Unterhalb	

Fusionstyp	Bild
Intervall	Spot 37.0 °C · 79.8 · 35.7 · 23.1 · FLIR
Picture In Picture	Spot 39.2 °C · 23.1 · FLIR

Vorgehensweise zum Einrichten einer thermischen Fusion

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie , um das Menüsystem anzuzeigen.
2	Wählen Sie im Menüsystem aus. Daraufhin wird ein Untermenü angezeigt.
3	Wählen Sie im unter Menü **Thermische Fusion** aus.
4	Drücken Sie auf .
5	Um den Infrarotanteil im Bild zu ändern, führen Sie eine der folgenden Aktionen aus: ■ Drücken Sie den Joystick nach rechts/links, um auszuwählen, und anschließend nach oben/unten, um den unteren Temperaturwert zu ändern. ■ Drücken Sie den Joystick nach rechts/links, um auszuwählen, und anschließend nach oben/unten, um den oberen Temperaturwert zu ändern. ■ Drücken Sie den Joystick nach rechts/links, um auszuwählen, und anschließend nach oben/unten, um gleichzeitig den unteren und den oberen Temperaturwert zu ändern. Drücken Sie den Joystick nach rechts/links, um den Temperatur-Span zu ändern.

Vorgehensweise zum Einrichten von Picture in Picture

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie , um das Menüsystem anzuzeigen.
2	Wählen Sie im Menüsystem aus. Daraufhin wird ein Untermenü angezeigt.
3	Wählen Sie im unter Menü **Picture In Picture** aus. Dadurch wird über dem Digitalfoto ein Infrarotbildrahmen angezeigt.

17 Arbeiten mit Messwerkzeugen

17.1 *Festlegen von Messwerkzeugen: Messpunkte, Bereiche etc.*

Allgemein

Um die Temperatur zu messen, verwenden Sie ein oder mehrere Messwerkzeuge, z. B. einen Messpunkt, ein Rechteck usw.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um ein Messwerkzeug festzulegen:

1	Drücken Sie , um das Menüsystem anzuzeigen.
2	Drücken Sie den Joystick, um zu zu wechseln.
3	Drücken Sie OK, um ein Untermenü anzuzeigen.
4	Wechseln Sie mit der Navigationstaste zu einem Messwerkzeug.
5	Drücken Sie OK. Daraufhin wird das Messwerkzeug auf dem Bildschirm angezeigt.

17.2 Festlegen eines Messwerkzeugs: Isothermen

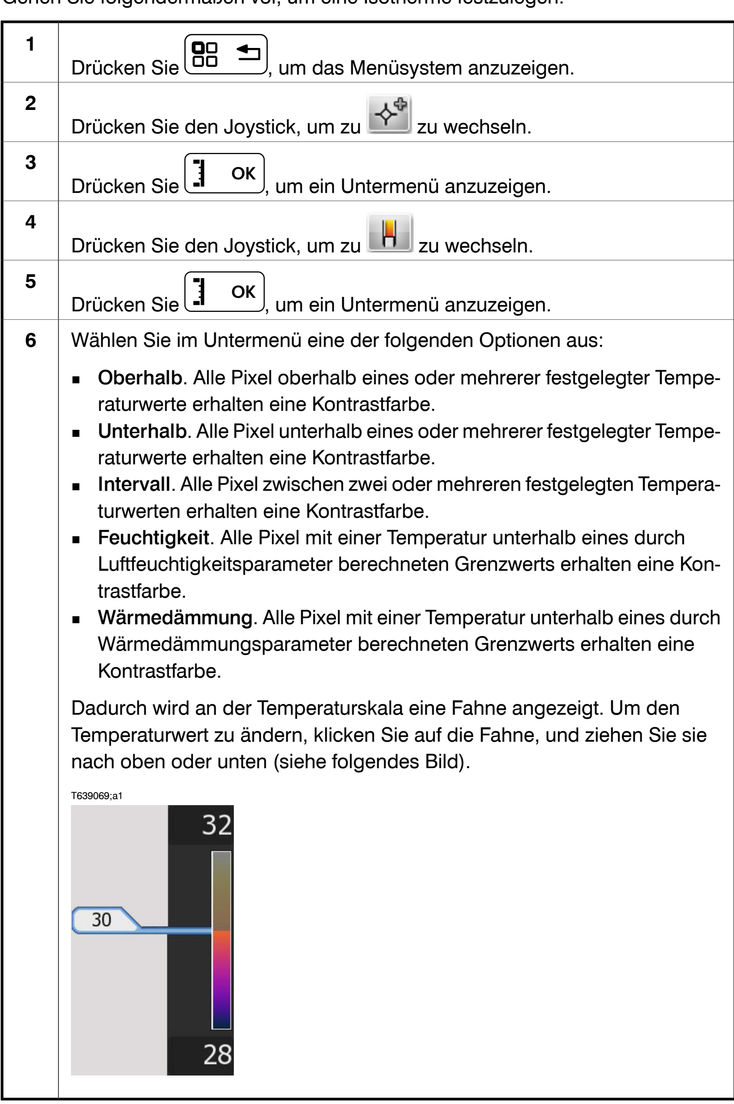
Allgemein

Mit dem Isothermen-Befehl erhalten alle Pixel oberhalb, unterhalb oder zwischen einem oder mehreren festgelegten Temperaturwerten eine Kontrastfarbe.

Mit Isothermen lassen sich Anomalien in einem Infrarotbild leicht entdecken.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um eine Isotherme festzulegen:



1	Drücken Sie [Taste], um das Menüsystem anzuzeigen.
2	Drücken Sie den Joystick, um zu [Symbol] zu wechseln.
3	Drücken Sie [OK], um ein Untermenü anzuzeigen.
4	Drücken Sie den Joystick, um zu [Symbol] zu wechseln.
5	Drücken Sie [OK], um ein Untermenü anzuzeigen.
6	Wählen Sie im Untermenü eine der folgenden Optionen aus: ▪ **Oberhalb**. Alle Pixel oberhalb eines oder mehrerer festgelegter Temperaturwerte erhalten eine Kontrastfarbe. ▪ **Unterhalb**. Alle Pixel unterhalb eines oder mehrerer festgelegter Temperaturwerte erhalten eine Kontrastfarbe. ▪ **Intervall**. Alle Pixel zwischen zwei oder mehreren festgelegten Temperaturwerten erhalten eine Kontrastfarbe. ▪ **Feuchtigkeit**. Alle Pixel mit einer Temperatur unterhalb eines durch Luftfeuchtigkeitsparameter berechneten Grenzwerts erhalten eine Kontrastfarbe. ▪ **Wärmedämmung**. Alle Pixel mit einer Temperatur unterhalb eines durch Wärmedämmungsparameter berechneten Grenzwerts erhalten eine Kontrastfarbe. Dadurch wird an der Temperaturskala eine Fahne angezeigt. Um den Temperaturwert zu ändern, klicken Sie auf die Fahne, und ziehen Sie sie nach oben oder unten (siehe folgendes Bild). T639069;a1 32 30 28

17.3 Verschieben oder Größenänderung eines Messwerkzeugs

Allgemein

Sie können ein Messwerkzeug verschieben und seine Größe ändern.

HINWEIS

- Bei dieser Vorgehensweise wird davon ausgegangen, dass Sie zuvor ein Messwerkzeug auf dem Bildschirm festgelegt haben.
- Sie können das Messwerkzeug auch mit dem Finger verschieben oder in der Größe ändern.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um ein Messwerkzeug zu verschieben oder in der Größe zu ändern:

1	Drücken Sie , um das Menüsystem anzuzeigen.
2	Wechseln Sie mit der Navigationstaste zu (**Werkzeuge**).
3	Drücken Sie OK, um ein Untermenü anzuzeigen.
4	Wechseln Sie mit der Navigationstaste zu (**Werkzeuge anpassen**).
5	Drücken Sie OK, und wählen Sie das Messwerkzeug aus, das Sie verschieben oder in der Größe ändern möchten.
6	Verwenden Sie die Navigationstaste, um das Messwerkzeug zu verschieben oder in der Größe zu ändern.

17.4 Erstellen und Konfigurieren von Differenzberechnungen

Allgemein

Durch die Differenzberechnung wird die Differenz zwischen den Werten von zwei bekannten Messergebnissen angegeben.

HINWEIS

Bei dieser Vorgehensweise wird davon ausgegangen, dass Sie zuvor mindestens zwei Messwerkzeuge auf dem Bildschirm festgelegt haben.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um eine Differenzberechnung zu erstellen und zu konfigurieren:

1	Drücken Sie , um das Menüsystem anzuzeigen.
2	Wechseln Sie mit der Navigationstaste zu (**Werkzeuge**).
3	Drücken Sie OK, um ein Untermenü anzuzeigen.
4	Wählen Sie mit der Navigationstaste Δ (**Differenz hinzufügen**) aus.
5	Drücken Sie OK. Es wird ein Dialogfeld angezeigt, in dem Sie die Messwerkzeuge auswählen können, die Sie für die Differenzberechnung verwenden möchten.
6	Drücken Sie OK. Das Ergebnis der Differenzberechnung wird in der Ergebnistabelle angezeigt.

17.5 Ändern von Objektparametern

Allgemein

Um exakte Messergebnisse zu erzielen, müssen Sie die Objektparameter einstellen.

Parametertypen

Die Kamera kann folgende Objektparameter verwenden:

- Der **Emissionsgrad** gibt an, wie viel Strahlung ein Objekt im Vergleich zu einem theoretischen Referenzobjekt mit derselben Temperatur (auch “Schwarzkörper” genannt) abgibt. Das Gegenteil des Emissionsgrades ist die Reflexivität. Der Emissionsgrad gibt an, wie viel Strahlung von dem Objekt ausgeht, und nicht, wie viel von ihm reflektiert wird.
- Die **Reflektierte Temperatur**, mit der die Umgebungsstrahlung kompensiert wird, die von dem Objekt in die Kamera reflektiert wird. Diese Objekteigenschaft wird Reflexivität genannt.
- Der **Objektabstand** ist der Abstand zwischen Kamera und Zielobjekt.
- Die **Atmosphärentemperatur** ist die Lufttemperatur zwischen Kamera und Zielobjekt.
- Die **Relative Luftfeuchtigkeit** ist die relative Luftfeuchtigkeit zwischen Kamera und Zielobjekt.
- Die **Kompensation für externes IR-Fenster**, d. h. die Temperatur der Schutzfenster usw., die zwischen der Kamera und dem Zielobjekt aufgestellt sind. Wenn keine Schutzfenster oder sonstigen Abschirmungen verwendet werden, ist dieser Wert nicht relevant und sollte inaktiv bleiben.

Empfohlene Werte

Wenn Sie sich bezüglich der Werte nicht sicher sind, empfehlen wir die folgenden Werte:

Atmosphärentemperatur	+20 °C
Emissionsgrad	0,95
Objektabstand	1,0 m
Reflektierte scheinbare Temperatur	+20 °C
Relative Luftfeuchtigkeit	50 %

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um die Objektparameter zu ändern:

1	Drücken Sie [Taste], um das Menüsystem anzuzeigen.
2	Drücken Sie den Joystick, um zu [Symbol] zu wechseln.
3	Drücken Sie [OK-Taste], um ein Dialogfeld anzuzeigen.
4	Verwenden Sie die Navigationstaste, um einen Objektparameter auszuwählen und zu ändern.
5	Drücken Sie [OK-Taste], um das Dialogfeld zu schließen.

HINWEIS

Von den oben genannten Parametern sind der *Emissionsgrad* und die *reflektierte scheinbare Temperatur* die wichtigsten, die in der Kamera korrekt eingestellt werden müssen.

Verwandte Themen

Ausführliche Informationen zu Parametern und zur korrekten Einstellung des Emissionsgrads und der reflektierten scheinbaren Temperatur finden Sie in Abschnitt 31 – Thermografische Messtechniken auf Seite 166.

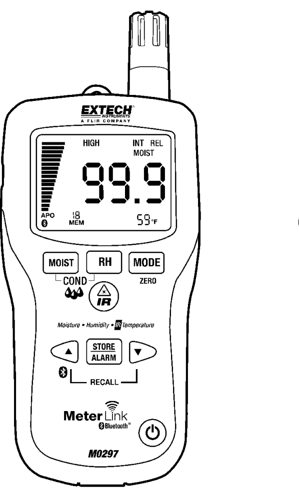
18 Abrufen von Daten externer Extech-Messgeräte

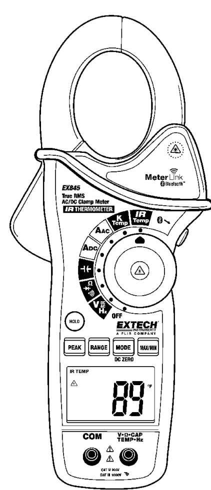
Allgemein

Sie können Daten von externen Extech-Messgeräten abrufen und diese Daten anschließend in die Ergebnistabelle des Infrarotbilds aufnehmen.

Abbildung

T638370;a1





Unterstützte Extech-Messgeräte

- Extech Moisture Meter MO297
- Extech Clamp Meter EX845

Technischer Support für Extech-Messgeräte

support@extech.com

Dieser Support kann Ihnen nur bei Extech-Messgeräten weiterhelfen. Technischen Support für Infrarotkameras finden Sie auf http://support.flir.com.

HINWEIS

- Die folgende Vorgehensweise setzt voraus, dass Sie Ihre Bluetooth-Geräte verbunden haben.
- Weitere Informationen zu den Produkten von Extech Instruments finden Sie unter http://www.extech.com/instruments/.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Schalten Sie die Kamera ein.
2	Schalten Sie das Extech-Messgerät ein.

3	Aktivieren Sie am Messgerät den Bluetooth-Modus. Nähere Informationen hierzu finden Sie im Handbuch Ihres Messgeräts.
4	Wählen Sie am Messgerät die zu verwendende Maßeinheit (Spannung, Strom, Widerstand usw.). Informationen zur Vorgehensweise finden Sie in der Benutzerdokumentation des Messgeräts. Die Ergebnisse des Messgeräts werden nun automatisch in der Ergebnistabelle links oben im Bildschirm der Infrarotkamera angezeigt.
5	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ■ Drücken Sie die Vorschau/Speichern-Taste, um die Vorschau eines Bildes anzusehen. Zu diesem Zeitpunkt können Sie zusätzliche Werte hinzufügen. Führen Sie hierzu eine neue Messung durch, und wählen Sie auf dem Bildschirm Ihrer Infrarotkamera **Hinzufügen**. ■ Möchten Sie ein Bild speichern, ohne die Vorschau zu nutzen, halten Sie die Vorschau/Speichern-Taste gedrückt. ■ (Abhängig vom Kameramodell) Möchten Sie einem erneut aufgerufenen Bild einen Wert hinzufügen, rufen Sie zunächst das Bild auf und schalten dann das Messgerät ein. Wählen Sie nun **Hinzufügen** auf dem Bildschirm der Infrarotkamera. Sie können maximal 8 Werte hinzufügen. Beachten Sie hierbei, dass einige Werte in zwei Zeilen angezeigt werden.

18.1 Typische Verfahrensweise für Feuchtigkeitsmessung und Dokumentation

Allgemein

Die nachfolgende Vorgehensweise kann als Grundlage für weitere Verfahrensweisen mit Extech-Messgeräten und Infrarotkameras herangezogen werden.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Ermitteln Sie mit Hilfe der Infrarotkamera potenziell feuchte Bereiche hinter Wänden und Decken.
2	Nehmen Sie mit Hilfe des Feuchtemessers an verschiedenen Stellen, an denen Feuchtigkeit vermutet wird, Messungen vor.
3	Wird ein besonders auffälliger Punkt identifiziert, speichern Sie den Feuchtigkeitswert im Feuchtemesser und kennzeichnen Sie den Messpunkt von Hand oder mit einer anderen thermischen Markierung
4	Rufen Sie den Messwert aus dem Speicher des Messgeräts ab. Der Feuchtemesser überträgt diesen Wert nun fortlaufend an die Infrarotkamera.
5	Erfassen Sie mit der Kamera ein Wärmebild des Bereichs mit der Markierung. Die gespeicherten Daten des Feuchtemessers werden ebenfalls im Bild gespeichert.

19 Arbeiten mit Isothermen

19.1 *Isothermen für Gebäude*

Allgemein

Die Kamera verfügt über Isothermentypen, die spezifisch für die Baubranche sind. Sie können die Kamera so einstellen, dass folgende Isothermen ausgelöst werden:

- **Feuchtigkeit**: Wird ausgelöst, wenn ein Messwerkzeug eine Oberfläche ermittelt, bei der die relative Luftfeuchtigkeit über einem festgelegten Wert liegt.
- **Wärmedämmung**: Wird ausgelöst, wenn bei einer Wand ein Wärmedämmungsmangel vorliegt.

Informationen zur Feuchtigkeits-Isotherme

Zur Erkennung von Bereichen, bei denen die relative Luftfeuchtigkeit unter 100 % liegt, können Sie die **Feuchtigkeit**-Isotherme verwenden. Hier können Sie den Wert für die relative Luftfeuchtigkeit einstellen, bei dessen Überschreitung das Bild gefärbt wird.

Informationen zur Wärmedämmungs-Isotherme

Die **Wärmedämmung**-Isotherme kann Bereiche in Gebäuden erkennen, in denen ein Wärmedämmungsmangel vorliegt. Er wird ausgelöst, wenn der Wärmedämmungsgrad unter einen festgelegten Wert für den Energieverlust durch die Wand fällt.

In den verschiedenen Bauvorschriften werden jeweils unterschiedliche Werte für den Wärmedämmungsgrad empfohlen, typische Werte für Neubauten sind jedoch 0,6-0,8. Informieren Sie sich in den national gültigen Bauvorschriften über die empfohlenen Werte.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um eine Isotherme zu konfigurieren:

1	Drücken Sie , um das Menüsystem anzuzeigen.
2	Drücken Sie den Joystick, um zu zu wechseln.
3	Drücken Sie OK, um ein Untermenü anzuzeigen.
4	Drücken Sie den Joystick, um zu zu wechseln.
5	Drücken Sie OK, um ein Untermenü anzuzeigen.
6	Wählen Sie im Untermenü die Option **Feuchtigkeit** oder die Option **Wärmedämmung** aus. Es wird ein Dialogfeld angezeigt, in dem Sie die benötigten Parameter festlegen können.
7	Drücken Sie auf OK. Die Konfiguration ist abgeschlossen, und eine Isotherme wird angezeigt, wenn die Parameter erfüllt sind.

HINWEIS Um dieser Isotherme Aussagekraft zu verleihen, müssen die Parameter sorgfältig festgelegt werden.

20 Kommentieren von Bilden

Allgemein

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie Sie mit Hilfe von Kommentaren zusätzliche Informationen zu einem Infrarotbild speichern können.

Durch das Hinzufügen von Kommentaren wird die Berichterstellung und Nachbearbeitung effizienter, da wesentliche Informationen zu dem Bild wie beispielsweise Bedingungen, Fotos, Informationen zum Aufnahmeort usw. bereitgestellt werden.

Sie können die Kamera zu konfigurieren, dass automatisch Kommentare zu den Bildern hinzugefügt werden.

20.1 Aufnehmen von Digitalbildern

Allgemein

Wenn Sie ein Infrarotbild speichern, können Sie auch ein Digitalbild des Zielobjekts anfertigen. Das Digitalbild wird automatisch mit dem Infrarotbild gruppiert, wodurch die Nachbearbeitung und die Berichterstellung erleichtert wird.

HINWEIS

Bei dieser Vorgehensweise wird vorausgesetzt, dass Sie die Kamera nicht für das automatische Hinzufügen eines Digitalfotos konfiguriert haben.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um ein Digitalbild aufzunehmen:

1	Um ein Infrarotbild in der Vorschau anzuzeigen, drücken Sie kurz die Trigger-Taste, und lassen Sie sie wieder los.
2	Wählen Sie mit der Navigationstaste aus.
3	Drücken Sie OK, um ein Untermenü anzuzeigen.
4	Drücken Sie den Joystick, um **Bild der Digitalkamera** auszuwählen.
	Drücken Sie OK, um das Digitalfoto aufzunehmen. Das Digitalfoto wird gemeinsam mit dem IR-Bild in eine sogenannte "Infrarotuntersuchungsgruppe" eingefügt. Beide Bilder werden gemeinsam als Gruppe im Bildarchiv gespeichert und auch beim Verschieben der Dateien von der Kamera in die Berichterstellungssoftware auf dem Computer als Gruppe behandelt.

Publ. No. T559651 Rev. a540 – GERMAN (DE) – May 25, 2011

20.2 Erstellen von Sprachkommentaren

Allgemein

Ein Sprachkommentar ist eine Audioaufzeichnung, die in einer Infrarotbilddatei gespeichert wird.

Der Sprachkommentar wird mit Hilfe eines Bluetooth-Headsets aufgezeichnet. Die Aufnahme kann in der Kamera sowie mit Bildanalyse- und Berichterstellungssoftware von FLIR Systems wiedergegeben werden.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um einen Sprachkommentar zu erstellen:

1	Um ein Bild in der Vorschau anzuzeigen, drücken Sie die Trigger-Taste.
2	Wählen Sie mit der Navigationstaste aus.
3	Führen Sie eine der folgenden Aktionen aus, und drücken Sie zur Bestätigung jeder Auswahl den Joystick. Manche Schaltflächen verfügen über mehrere Funktionen. ▪ Um eine Aufnahme zu starten, wählen Sie . ▪ Um eine Aufnahme zu unterbrechen/fortzusetzen, wählen Sie . ▪ Um eine Aufnahme zu beenden, wählen Sie . ▪ Um eine Aufnahme wiederzugeben, wählen Sie . ▪ Um den Sprachkommentar anzuhalten, den Sie gerade anhören, wählen Sie . ▪ Um zum Beginn einer Aufnahme zu gelangen, wählen Sie . ▪ Um eine Aufzeichnung zu löschen, drücken Sie den Joystick nach rechts/links oder oben/unten, und wählen Sie . ▪ Um eine Aufnahme zu speichern, wählen Sie **Speichern**.

20.3 Erstellen von Textkommentaren

Allgemein

Ein Textkommentar wird mit der Bilddatei in einer Gruppe zusammengefasst. Über diese Funktion können Sie Bilder kommentieren. Der Kommentartext kann später bearbeitet werden.

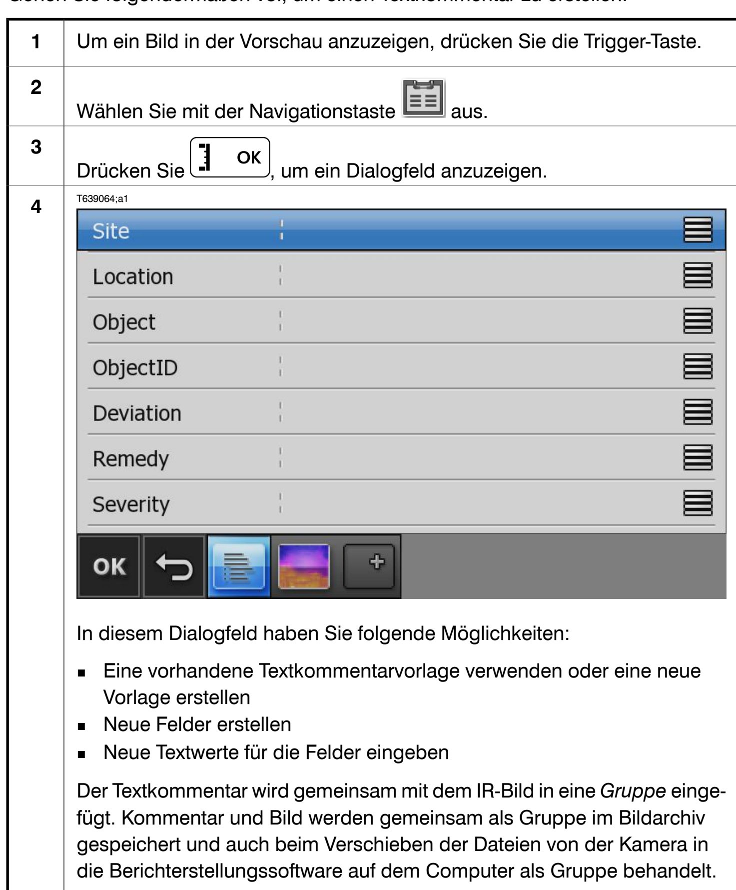
Diese Funktion ist sehr effizient, wenn Sie Informationen zu einem Bild speichern möchten oder wenn Sie eine große Anzahl ähnlicher Objekte untersuchen. Textkommentare können das manuelle Ausfüllen von Formularen oder Untersuchungsprotokollen überflüssig machen.

HINWEIS

Bei dieser Vorgehensweise wird vorausgesetzt, dass Sie die Kamera nicht für das automatische Hinzufügen eines Textkommentars konfiguriert haben.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um einen Textkommentar zu erstellen:



1	Um ein Bild in der Vorschau anzuzeigen, drücken Sie die Trigger-Taste.
2	Wählen Sie mit der Navigationstaste aus.
3	Drücken Sie OK, um ein Dialogfeld anzuzeigen.
4	T639064;a1 In diesem Dialogfeld haben Sie folgende Möglichkeiten: ▪ Eine vorhandene Textkommentarvorlage verwenden oder eine neue Vorlage erstellen ▪ Neue Felder erstellen ▪ Neue Textwerte für die Felder eingeben Der Textkommentar wird gemeinsam mit dem IR-Bild in eine *Gruppe* eingefügt. Kommentar und Bild werden gemeinsam als Gruppe im Bildarchiv gespeichert und auch beim Verschieben der Dateien von der Kamera in die Berichterstellungssoftware auf dem Computer als Gruppe behandelt.

5	(Schritte 5-8 beschreiben das Hinzufügen von Werten zu vorhandenen Bezeichnungen.) Wählen Sie mit der Navigationstaste eine Bezeichnung wie Ort oder Objekt aus der Liste aus.
6	Drücken Sie OK, um ein Dialogfeld anzuzeigen.
7	Führen Sie in diesem Dialogfeld eine der folgenden Aktionen durch: ■ Wählen Sie einen der vordefinierten Texte wie Maschine oder Abzug aus. ■ Klicken Sie auf **Tastatur**, und geben Sie einen neuen Text ein.
8	Klicken Sie auf OK.

21 Aufnahme von Videos

Allgemein

Sie können nicht radiometrische Infrarot- oder Tageslichtvideos aufzeichnen. In diesem Modus arbeitet die Kamera wie eine herkömmliche digitale Videokamera.

Die Videos können mit Windows® Media Player wiedergegeben werden, radiometrische Informationen können jedoch nicht aus den Videos abgerufen werden.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um Infrarotvideos oder nicht radiometrische Tageslichtvideos aufzuzeichnen:

1	Drücken Sie [Taste], um das Menüsystem anzuzeigen.
2	Wechseln Sie mit dem Joystick zu [Symbol].
3	Gehen Sie folgendermaßen vor: ■ Um mit der Aufnahme zu beginnen, drücken Sie kurz die Vorschau/Speichern-Taste, und lassen Sie sie wieder los. ■ Um die Aufnahme zu beenden, drücken Sie kurz die Vorschau/Speichern-Taste, und lassen Sie sie wieder los.
4	Wenn die Aufnahme beendet wurde, wird eine Symbolleiste angezeigt, über die Sie folgende Aktionen durchführen können: ■ Aufnahme speichern ■ Aufnahme abbrechen ■ Aufnahme wiedergeben ■ Textkommentar hinzufügen ■ Entwurf hinzufügen

Publ. No. T559651 Rev. a540 – GERMAN (DE) – May 25, 2011

22 Ändern von Einstellungen

Allgemein

Sie können eine Reihe von Einstellungen für die Kamera ändern:

- Kameraeinstellungen, wie Display-Helligkeit, Energieverwaltung, Touchscreen-Kalibrierung, Standardeinstellungen usw.
- Voreinstellungen, wie Einstellungen für Kommentare, Überlagerung usw.
- Verbindungen, wie Einstellungen für WLAN, Bluetooth usw.
- Regionale Einstellungen, wie Sprache, Datum und Uhrzeit, Datums- und Zeitformat, Temperatur- und Entfernungseinheiten usw.

In diesem Bereich werden auch nicht bearbeitbare Kameradaten wie Seriennummer, Firmware-Version, Batteriestand usw. angezeigt.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um Einstellungen zu ändern:

1	Drücken Sie , um das Menüsystem anzuzeigen.
2	Wechseln Sie mit der Navigationstaste zu (**Einstellungen**).
3	Drücken Sie OK, um ein Dialogfeld anzuzeigen.
4	Gehen Sie folgendermaßen vor: ■ Mit der Navigationstaste wechseln Sie zwischen den Registerkarten und scrollen auf den Registerkarten nach oben/unten. ■ Mit der OK-Taste bearbeiten Sie die aktuell ausgewählte Einstellung. ■ Mit der OK-Taste bestätigen Sie eine Auswahl.

23 Reinigen der Kamera

23.1 Kameragehäuse, Kabel und weitere Teile

Flüssigkeiten

Verwenden Sie eine der folgenden Flüssigkeiten:

- Warmes Wasser
- Milde Reinigungslösung

Ausrüstung

Ein weiches Tuch

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Tränken Sie das Tuch in der Flüssigkeit.
2	Wringen Sie das Tuch aus, um überschüssige Flüssigkeit zu entfernen.
3	Reinigen Sie das Teil mit dem Tuch.

VORSICHT

Verwenden Sie niemals Verdünnungsmittel oder ähnliche Flüssigkeiten für Kamera, Kabel oder Zubehör. Dies könnte zu Beschädigungen führen.

23.2 Infrarotobjektiv

Flüssigkeiten

Verwenden Sie eine der folgenden Flüssigkeiten:

- 96%iger Isopropylalkohol
- Eine handelsübliche Reinigungslösung für Objektive mit über 30%igem Isopropylalkohol

Ausrüstung

Watte

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Tränken Sie die Watte in der Flüssigkeit.
2	Drücken Sie die Watte aus, um überschüssige Flüssigkeit zu entfernen.
3	Reinigen Sie das Objektiv nur einmal, und werfen Sie die Watte weg.

WARNUNG

Lesen Sie unbedingt alle entsprechenden MSDS (Material Safety Data Sheets, Sicherheitsdatenblätter) und Warnhinweise auf den Behältern durch, bevor Sie eine Flüssigkeit verwenden: Flüssigkeiten können gefährlich sein.

VORSICHT

- Gehen Sie bei der Reinigung des Infrarotobjektivs behutsam vor. Das Objektiv ist mittels einer Beschichtung entspiegelt, die sehr empfindlich ist.
- Reinigen Sie das Infrarotobjektiv sehr vorsichtig, da andernfalls die Entspiegelung Schaden nehmen könnte.

23.3 Infrarotdetektor

Allgemein

Selbst geringe Staubmengen auf dem Infrarotdetektor können zu schwerwiegenden Bildfehlern führen. Befolgen Sie nachstehende Anweisungen, um alle Staubpartikel vom Detektor zu entfernen.

HINWEIS

- Dieser Abschnitt ist nur für Kameras relevant, bei denen der Infrarotdetektor durch die Entfernung des Objektivs freigelegt wird.
- In manchen Fällen können Sie den Staub auch mithilfe dieser Anweisungen nicht entfernen. Der Infrarotdetektor muss dann mechanisch gesäubert werden. Diese mechanische Reinigung muss von einem autorisierten Servicepartner vorgenommen werden.

VORSICHT

Verwenden Sie für Schritt 2 dieser Anleitung keine Druckluft aus Druckluftkreisläufen, wie sie beispielsweise in Werkstätten gebräuchlich sind. Diese Luft wird zumeist mit einem Ölnebel angereichert, der pneumatische Werkzeuge schmiert.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Entfernen Sie das Objektiv von der Kamera.
2	Entfernen Sie den Staub mithilfe von Druckluft. Hierzu eignet sich beispielsweise ein Druckluft-Spray.

Publ. No. T559651 Rev. a540 – GERMAN (DE) – May 25, 2011

24 Technische Daten

Die technischen Daten finden Sie in den Datenblättern der Benutzerdokumentation auf einer im Lieferumfang enthaltenen CD-ROM.

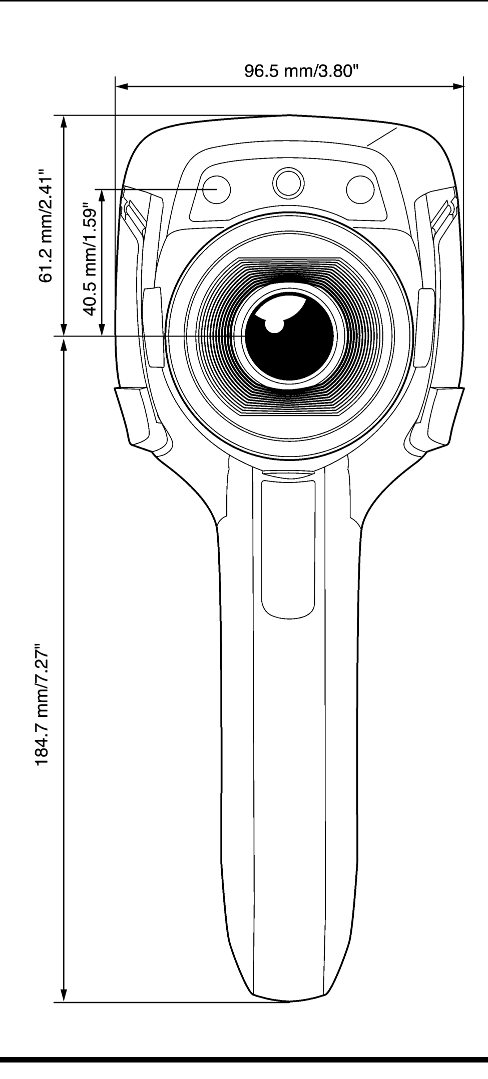
Weitere technische Daten finden Sie auch unter http://support.flir.com.

25 Abmessungen

25.1 Kameraabmessungen – Frontansicht (1)

Abbildung

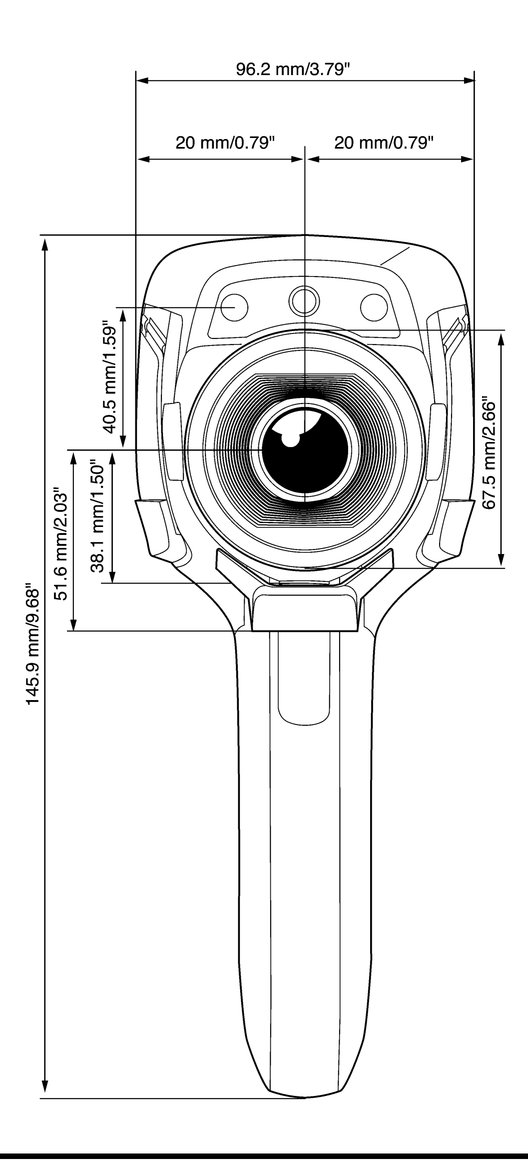
T638765;a1



25.2 Kameraabmessungen − Frontansicht (2)

Abbildung

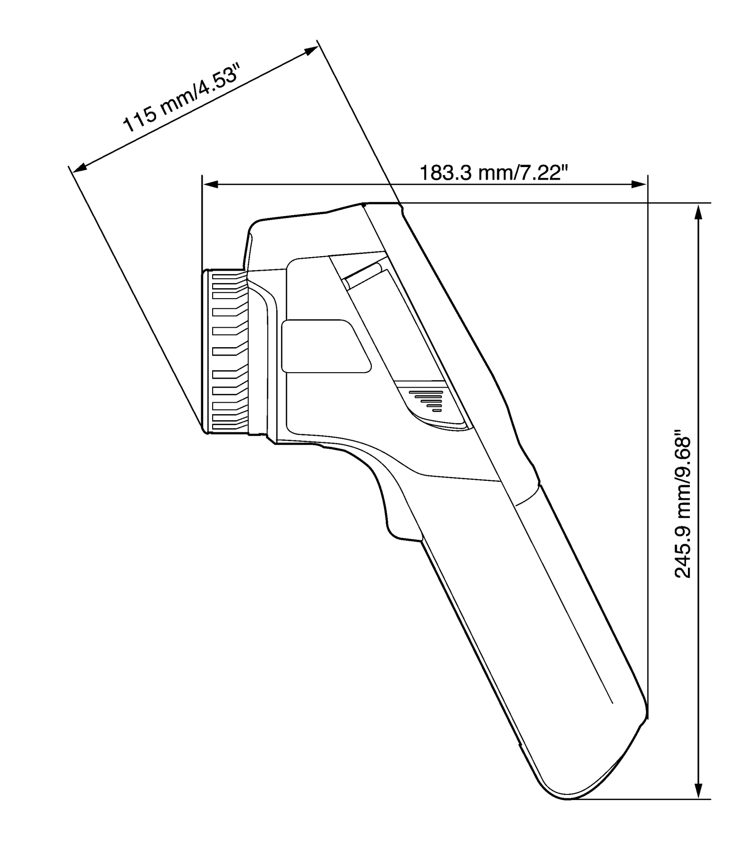
T638766;a1



25.3 Kameraabmessungen – Seitenansicht (1)

Abbildung

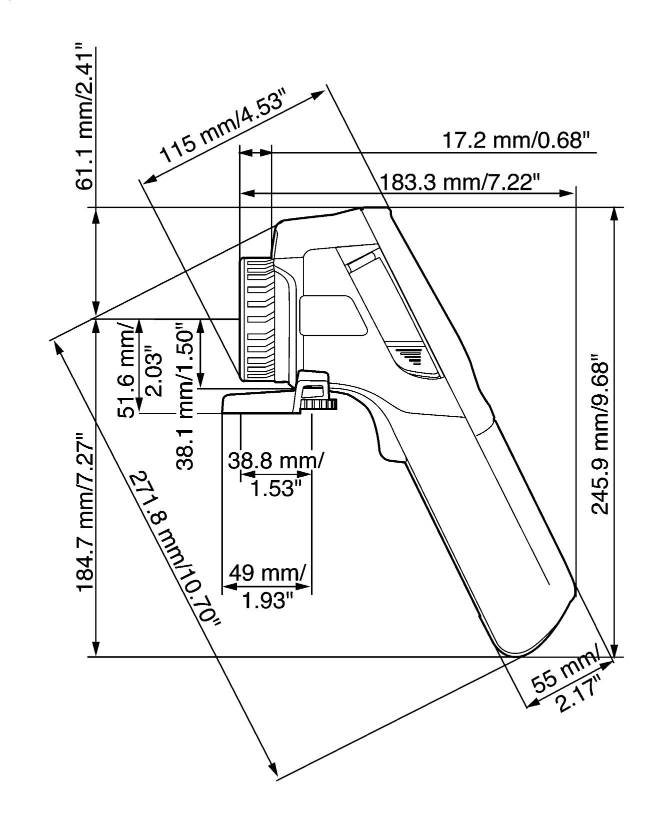
T638772;a1



25.4 Kameraabmessungen − Seitenansicht (2)

Abbildung

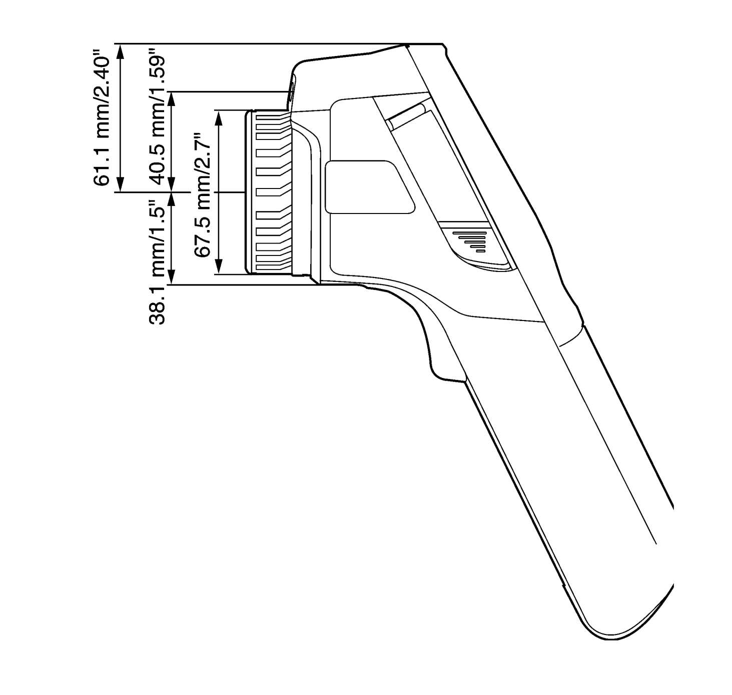
T638773;a1



25.5 Kameraabmessungen – Seitenansicht (3)

Abbildung

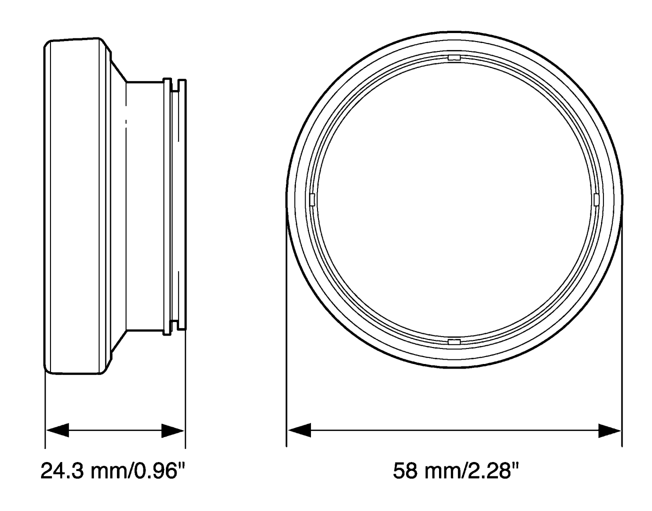
T638774;a1



25.6 *Infrarotobjektiv (30 mm/15°)*

Abbildung

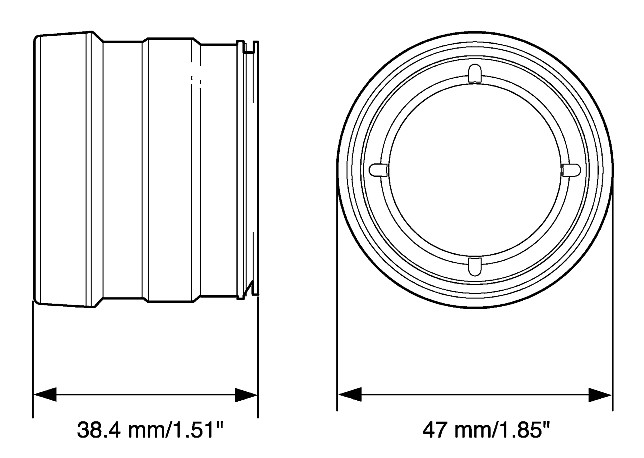
10762503;a1



25.7 Infrarotobjektiv (10 mm/45°)

Abbildung

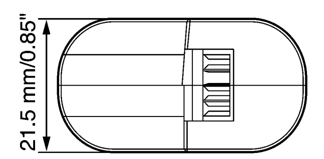
10762403;a1



25.8 Akku (1)

Abbildung

T638782;a1



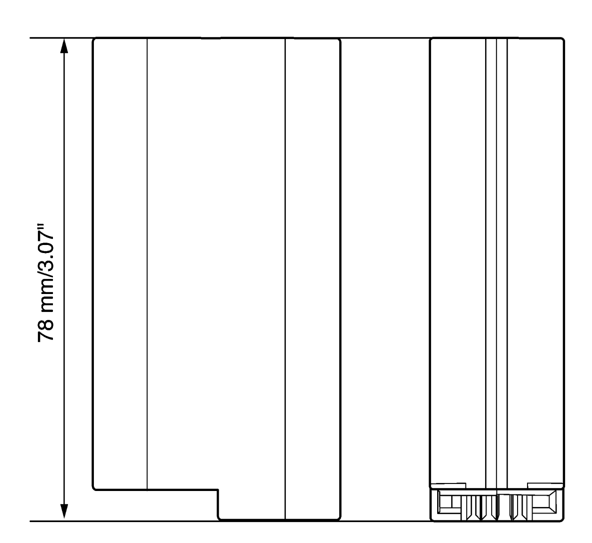
HINWEIS

Um etwaige Feuchtigkeit zu entfernen, reiben Sie den Akku mit einem sauberen und trockenen Tuch ab, bevor Sie ihn einsetzen.

25.9 Akku (2)

Abbildung

T638783;a1



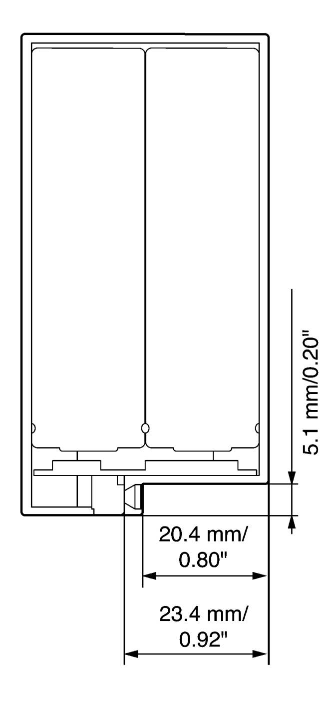
HINWEIS

Um etwaige Feuchtigkeit zu entfernen, reiben Sie den Akku mit einem sauberen und trockenen Tuch ab, bevor Sie ihn einsetzen.

25.10 Akku (3)

Abbildung

T638784;a1



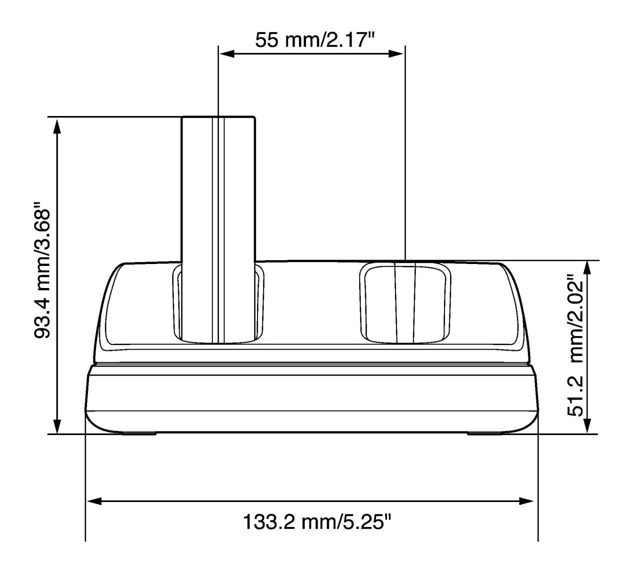
HINWEIS

Um etwaige Feuchtigkeit zu entfernen, reiben Sie den Akku mit einem sauberen und trockenen Tuch ab, bevor Sie ihn einsetzen.

25.11 Akkuladegerät (1)

Abbildung

T638767;a1



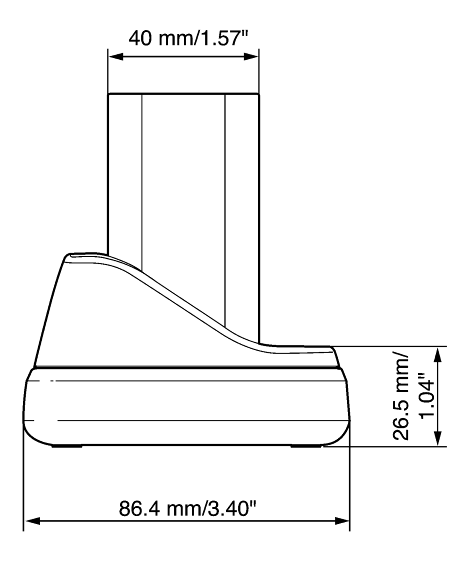
HINWEIS

Um etwaige Feuchtigkeit zu entfernen, reiben Sie den Akku mit einem sauberen und trockenen Tuch ab, bevor Sie ihn in das Ladegerät einsetzen.

25.12 Akkuladegerät (2)

Abbildung

T638768;a1



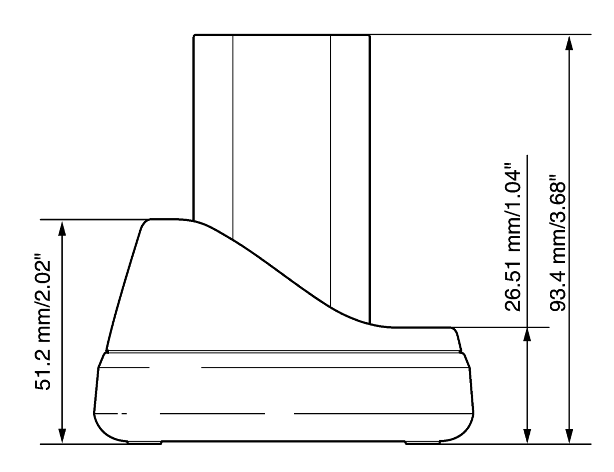
HINWEIS

Um etwaige Feuchtigkeit zu entfernen, reiben Sie den Akku mit einem sauberen und trockenen Tuch ab, bevor Sie ihn in das Ladegerät einsetzen.

25.13 Akkuladegerät (3)

Abbildung

T638769;a1



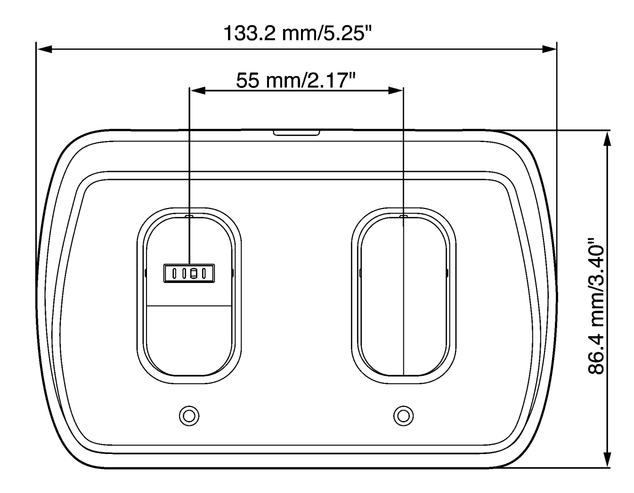
HINWEIS

Um etwaige Feuchtigkeit zu entfernen, reiben Sie den Akku mit einem sauberen und trockenen Tuch ab, bevor Sie ihn in das Ladegerät einsetzen.

25.14 Akkuladegerät (4)

Abbildung

T638770;a1



HINWEIS Um etwaige Feuchtigkeit zu entfernen, reiben Sie den Akku mit einem sauberen und trockenen Tuch ab, bevor Sie ihn in das Ladegerät einsetzen.

26 Anwendungsbeispiele

26.1 Feuchtigkeit und Wasserschäden

Allgemein

Feuchtigkeit und Wasserschäden in Häusern können häufig mit Hilfe von Infrarotkameras festgestellt werden. Das kommt teils daher, dass der geschädigte Bereich andere Wärmeleiteigenschaften besitzt, und teils daher, dass er über eine vom umgebenden Material abweichende Wärmekapazität zur Wärmespeicherung verfügt.

HINWEIS

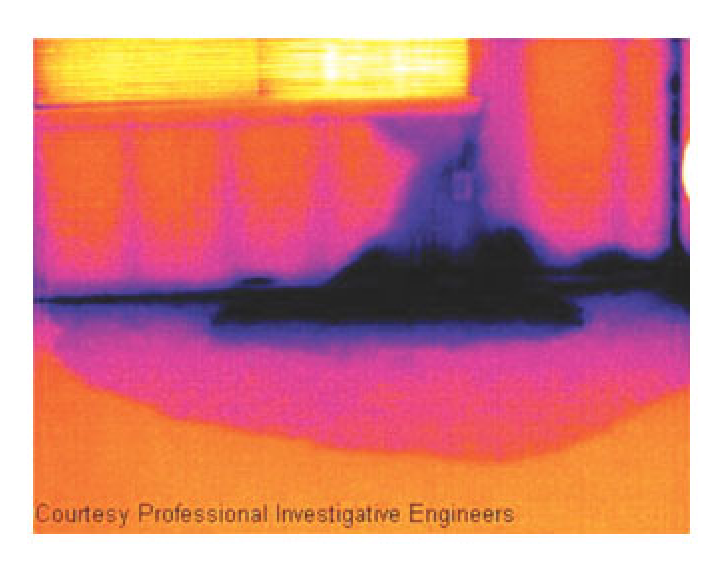
Viele Faktoren haben Einfluss auf die Art und Weise wie Feuchtigkeit und Wasserschäden auf einem Infrarotbild dargestellt werden.

So unterscheidet sich beispielsweise die Geschwindigkeit mit der diese Bauteile sich erhitzen bzw. auskühlen je nach Material und Tageszeit. Es ist daher wichtig, dass auch noch andere auch Methoden zum Nachweis von Feuchtigkeit und Wasserschäden herangezogen werden.

Abbildung

Das Bild unten zeigt einen großflächigen Wasserschaden an einer Außenwand, an der das Wasser die Außenfassade auf Grund eines unsachgemäß eingebauten Fensterrahmens durchdrungen hat.

10739503;a1



26.2 Defekter Steckdosenkontakt

Allgemein

Je nachdem, wie eine Steckdose angeschlossen ist, kann ein unsachgemäß angeschlossenes Kabel zu einem lokal begrenzten Temperaturanstieg führen. Dieser Temperaturanstieg wird durch die verkleinerte Kontaktfläche zwischen dem Anschlusspunkt des eingehenden Kabels und der Steckdose verursacht und kann zu einem Schmorbrand führen.

HINWEIS

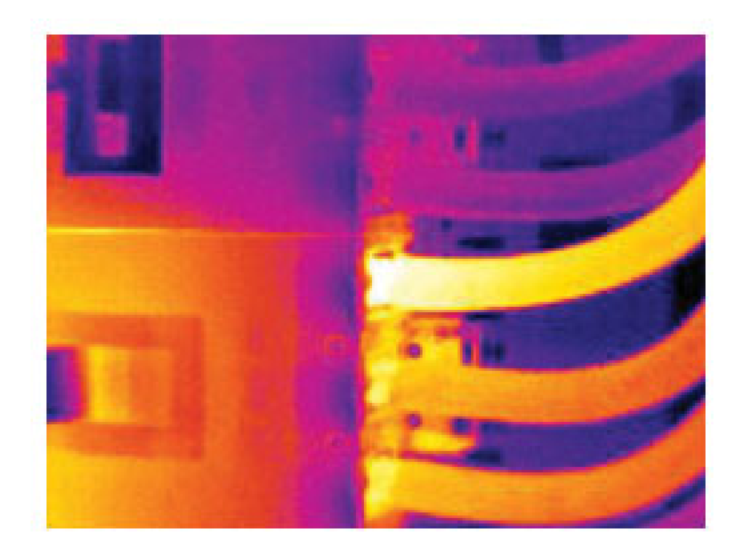
Der Aufbau einer Steckdose kann von Hersteller zu Hersteller stark variieren. Daher können unterschiedliche Defekte in einer Steckdose zum gleichen typischen Erscheinungsbild auf einem Infrarotbild führen.

Ein lokal begrenzter Temperaturanstieg kann auch durch einen fehlerhaften Kontakt zwischen Kabel und Steckdose oder durch Lastunterschiede hervorgerufen werden.

Abbildung

Das folgende Bild zeigt die Verbindung zwischen einem Kabel und einer Steckdose, an der ein fehlerhafter Kontakt zu einem lokal begrenzten Temperaturanstieg geführt hat.

10739603;a1



26.3 Oxidierte Steckdose

Allgemein

Je nach Art der Steckdose und der Umgebung, in der sie installiert ist, können die sich Oxide auf den Steckdosenkontakten ablagern. Die Oxidablagerungen können örtlich zu erhöhtem Widerstand führen, der auf einem Infrarotbild als lokaler Temperaturanstieg dargestellt wird.

HINWEIS

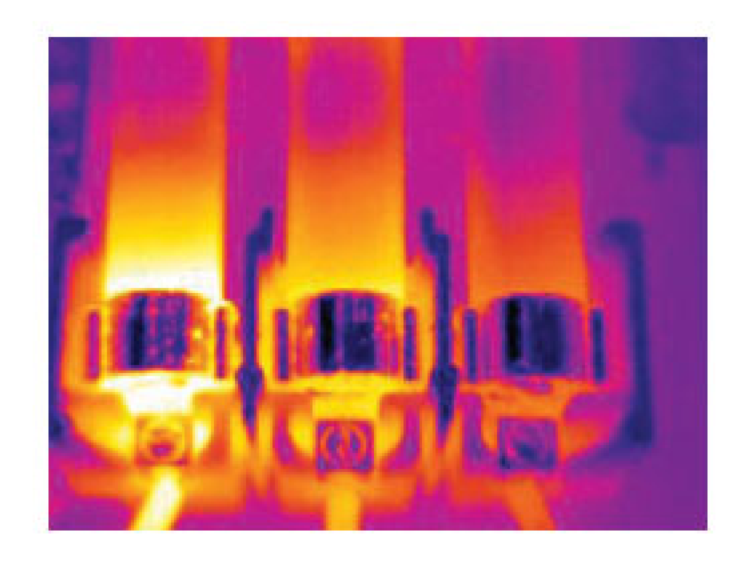
Der Aufbau einer Steckdose kann von Hersteller zu Hersteller stark variieren. Daher können unterschiedliche Defekte in einer Steckdose zum gleichen typischen Erscheinungsbild auf einem Infrarotbild führen.

Ein lokal begrenzter Temperaturanstieg kann auch durch einen fehlerhaften Kontakt zwischen einem Kabel und der Steckdose oder durch Lastunterschiede hervorgerufen werden.

Abbildung

Das Bild unten zeigt eine Reihe von Sicherungen. Eine dieser Sicherungen weist am Kontakt zur Fassung eine erhöhte Temperatur auf. Da die Fassung der Sicherung aus blankem Metall besteht, ist der Temperaturanstieg dort nicht sichtbar, an der Keramiksicherung selbst jedoch schon.

10739703;a1



26.4 Wärmedämmungsmängel

Allgemein

Mängel an der Wärmedämmung können entstehen, wenn sich das Dämmmaterial im Laufe der Zeit zusammenzieht, und dadurch die Hohlräume in den Wänden nicht mehr vollständig ausfüllt.

Mit Hilfe einer Infrarotkamera können Sie diese Mängel in der Wärmedämmung sichtbar machen, denn sie weisen entweder andere Wärmeleiteigenschaften als die Bereiche mit sachgemäß installierter Wärmedämmung auf, und/oder sie können den Bereich sichtbar machen, in dem Luft durch die Außenwände des Gebäudes dringt.

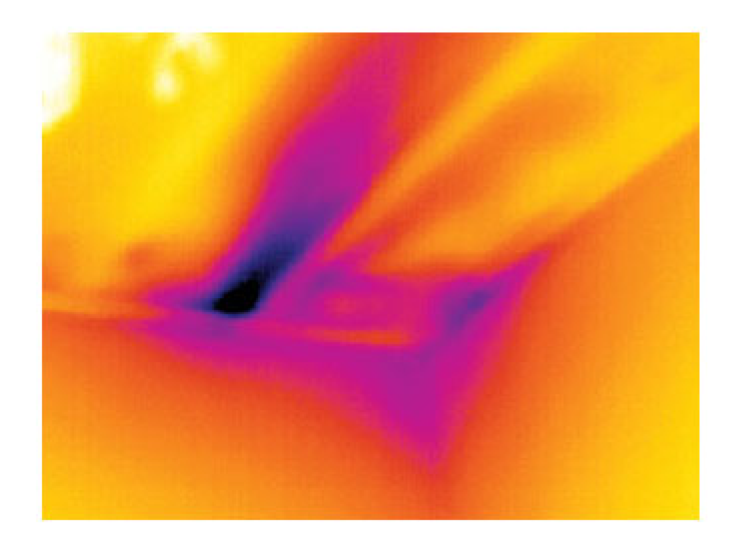
HINWEIS

Wenn Sie ein Gebäude untersuchen, sollte der Temperaturunterschied zwischen innen und außen mindestens 10 °C betragen. Bolzen, Wasserleitungen, Betonpfeiler und ähnliche Komponenten können auf einem Infrarotbild wie Mängel in der Wärmedämmung aussehen. Kleinere Unterschiede können auch durch das Material bedingt sein.

Abbildung

Im Bild unten ist die Wärmedämmung im Dachstuhl mangelhaft. Auf Grund der fehlenden Dämmung konnte Luft in die Dachkonstruktion eindringen. Dies wir dann mit anderen charakteristischen Merkmalen auf dem Infrarotbild dargestellt.

10739803;a1



26.5 Luftzug

Allgemein

Luftzug tritt unter Fußböden, um Tür- und Fensterrahmen herum und oberhalb von Zimmerdecken auf. Diese Art von Luftzug kann mit Hilfe einer Infrarotkamera meist als kühler Luftstrom dargestellt werden, der die umliegenden Oberflächen abkühlt.

HINWEIS

Wenn Sie Luftzugbewegungen in einem Haus untersuchen, sollte im Gebäude Unterdruck herrschen. Schließen Sie alle Türen, Fenster und Lüftungsschächte, und lassen Sie die Abzugshaube in der Küche eine Zeit lang laufen, bevor Sie die Infrarotbilder aufnehmen.

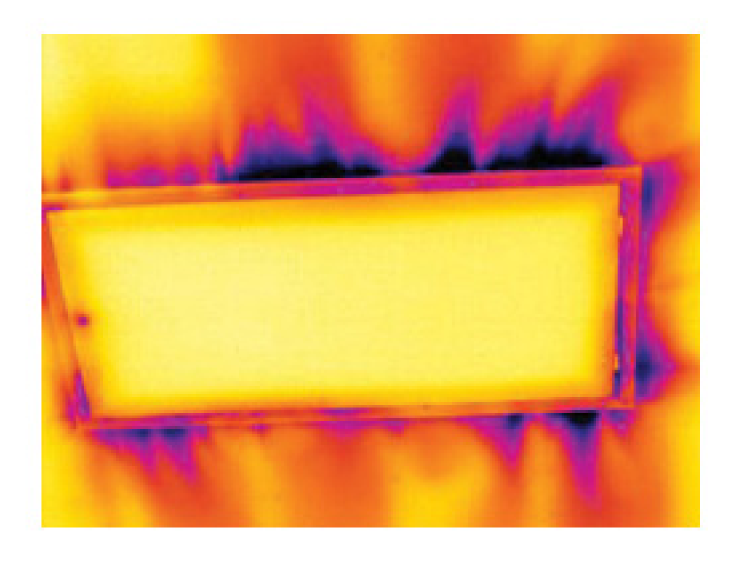
Infrarotbilder von Luftzug weisen häufig ein typisches Strömungsmuster auf. Sie können dieses Strömungsmuster in der Abbildung unten deutlich erkennen.

Bedenken Sie auch, dass Luftzug durch Fußbodenheizungen verschleiert werden kann.

Abbildung

Das Bild unten zeigt eine Dachluke, an der durch unsachgemäßen Einbau ein starker Luftzug entstanden ist.

10739903;a1



27 Einführung in die Gebäudethermografie

27.1 *Haftungsausschluss*

27.1.1 Urheberrechtliche Hinweise

Das Urheberrecht für einige Abschnitte und/oder Abbildungen in diesem Kapitel liegt bei den folgenden Organisationen und Unternehmen:

- FORMAS—The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning, Stockholm, Sweden
- ITC—Infrared Training Center, Boston, MA, United States
- Stockton Infrared Thermographic Services, Inc., Randleman, NC, United States
- Professional Investigative Engineers, Westminster, CO, United States
- United Kingdom Thermography Association (UKTA)

27.1.2 Schulung und Zertifizierung

Für die Durchführung von Thermografieuntersuchungen an Gebäuden sind umfangreiche Schulungsmaßnahmen und fundiertes Fachwissen erforderlich. Unter Umständen ist auch eine Zertifizierung durch eine nationale oder regionale Regulierungsbehörde erforderlich. Dieser Abschnitt ist lediglich als Einführung in die Gebäudethermografie gedacht. Dem Benutzer wird dringend empfohlen, an entsprechenden Schulungsveranstaltungen teilzunehmen.

Weitere Informationen zu Schulungen im Bereich Infrarottechnik finden Sie auf folgender Website:

http://www.infraredtraining.com

27.1.3 Nationale oder regionale Bauordnungen

Die kommentierten Gebäudestrukturen in diesem Kapitel können je nach Land in ihrer Bauweise variieren. Weitere Informationen zur Bauweise und zu Standardverfahren finden Sie in den jeweiligen nationalen oder regionalen Bauordnungen.

27.2 *Wichtiger Hinweis*

Die Konfiguration Ihrer speziellen Kamera unterstützt möglicherweise nicht alle in diesem Abschnitt beschriebenen Funktionen.

27.3 Typische Einsatzszenarien

27.3.1 Richtlinien

In den folgenden Abschnitten finden Sie eine Reihe allgemeiner Richtlinien, die Benutzer bei der Durchführung von thermografischen Gebäudeuntersuchungen beachten müssen. Hier zunächst alle Richtlinien auf einen Blick.

27.3.1.1 Allgemeine Richtlinien

- Der Emissionsgrad der meisten Baumaterialien liegt zwischen 0,85 und 0,95. Wenn Sie den Wert für den Emissionsgrad in der Kamera also auf 0,90 einstellen, ist dies ein guter Ausgangspunkt.
- Eine Infrarotuntersuchung darf niemals als alleinige Entscheidungsgrundlage für weitere Maßnahmen dienen. Verdachtsmomente und Erkenntnisse müssen immer mit Hilfe anderer Mittel und Methoden, wie Bauzeichnungen, Feuchtemesser, Erfassung von Feuchtigkeits- und Temperaturdaten, Prüfgasuntersuchungen usw. verifiziert werden.
- Nehmen Sie über die Level- und Span-Einstellungen eine Feinabstimmung der Temperaturinformationen des Infrarotbildes vor. Dies verbessert die Detailgenauigkeit des Bildes. Die Abbildung unten zeigt ein nicht abgestimmtes und ein feinabgestimmtes Infrarotbild im direkten Vergleich.

10552103;a2

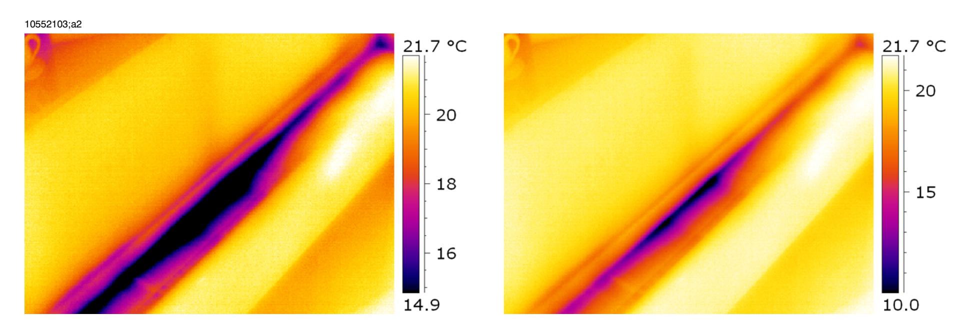


Abbildung 27.1 LINKS: Ein Infrarotbild ohne Feinabstimmung der Temperaturinformationen **RECHTS:** Ein Infrarotbild mit Feinabstimmung der Temperaturinformationen nach Änderung von Level/Span

27.3.1.2 Richtlinien für den Nachweis von Feuchtigkeit, Schimmel und Wasserschäden

- Gebäudeschäden durch Feuchtigkeit und Wasserschäden werden unter Umständen nur durch Wärmeeinwirkung auf die Oberfläche (z. B. durch Sonne) sichtbar.
- Wenn Wasser vorhanden ist, ändern sich die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmeträgheit des Baumaterials. Darüber hinaus kann es durch Verdunstungskälte die Oberflächentemperatur des Baumaterials verändern. Unter Wärmeleitfähigkeit versteht man die Fähigkeit eines Materials, Wärme zu leiten, unter Wärmeträgheit die Fähigkeit, Wärme zu speichern.

- Durch eine Infrarotuntersuchung kann Schimmelbefall nicht unmittelbar festgestellt werden; sie kann vielmehr dazu genutzt werden, feuchte Stellen aufzuspüren, an denen es zu Schimmelbildung kommen kann oder bereits gekommen ist. Schimmel kann sich bei Temperaturen zwischen +4 und +38 °C bilden, wenn Feuchtigkeit und die entsprechenden Nährstoffe vorhanden sind. Bei einer Luftfeuchtigkeit von über 50 % ist ausreichend Feuchtigkeit für eine Schimmelbildung vorhanden

10556003;a1

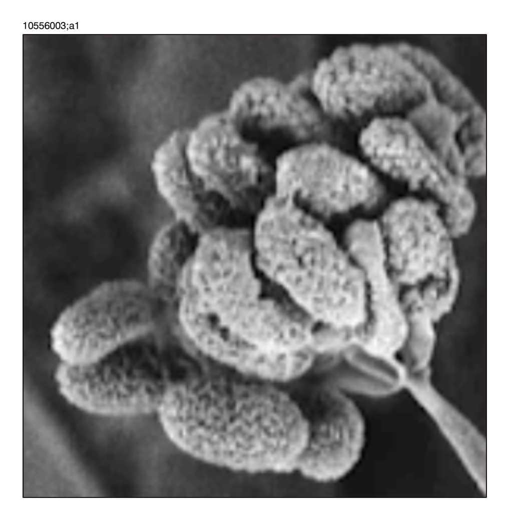


Abbildung 27.2 Schimmelsporen unter dem Mikroskop

27.3.1.3 Richtlinien für den Nachweis von Luftinfiltration und Wärmedämmungsmängeln

- Um sehr genaue Messungen mit der Kamera zu erhalten, nehmen Sie Temperaturmessungen vor und geben den Wert in die Kamera ein.
- Ein Druckunterschied zwischen dem Gebäudeinneren und dem Außenbereich ist empfehlenswert. Dies erleichtert die Analyse der Infrarotbilder und deckt Mängel auf, die sonst nicht erkennbar wären. Idealerweise sollte der Druckunterschied zwischen 10 und 50 Pa liegen, gegebenenfalls ist für eine Untersuchung aber auch ein geringerer Druckunterschied akzeptabel. Schließen Sie alle Fenster, Türen und Lüftungsschächte und lassen Sie die Abzugshaube in der Küche einige Zeit laufen, um einen Unterdruck von 5 bis 10 Pa im Inneren zu erreichen (nur Wohngebäude).
- Zwischen der Innen- und Außentemperatur sollte ein Unterschied von 10 bis 15 °C herrschen. Untersuchungen können zwar auch durchgeführt werden, wenn der Temperaturunterschied geringer ist, aber die Analyse der Infrarotbilder wird dadurch erschwert.
- Gebäudeteile wie beispielsweise Fassaden, für die eine Innenmessung durchgeführt werden soll, sollten keiner direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein. Das Sonnenlicht erwärmt die Fassade, wodurch die Temperaturunterschiede an der

Innenseite ausgeglichen und Mängel an der Gebäudestruktur verschleiert werden. Dies gilt insbesondere für das Frühjahr, wenn die Nachttemperaturen niedrig (±0 °C) und die Tagestemperaturen hoch sind (+14 °C).

27.3.2 Informationen zum Feuchtigkeitsnachweis

Feuchtigkeit in einem Gebäude kann u. a. folgende Ursachen haben:

- extern verursachte Nässe, beispielsweise durch Überflutungen, defekte Hydranten usw.
- interne Leckagen, wie defekte Wasserleitungen, Abwasserleitungen usw.
- Kondensation, d. h. der Niederschlag von Luftfeuchtigkeit auf kalten Oberflächen in Form von Wasser
- Feuchtigkeit im Gebäude, d. h. jede vor der Errichtung des Gebäudes in den Baustoffen vorhandene Feuchtigkeit
- Löschwasser

Die Verwendung einer Infrarotkamera als zerstörungsfreie Nachweismethode bietet gegenüber anderen Methoden eine Reihe von Vorteilen, aber auch einige Nachteile:

Vorteil	Nachteil
■ Die Methode ist schnell. ■ Die Methode ermöglicht eine zerstörungsfreie Untersuchung. ■ Die Bewohner müssen während der Untersuchung das Gebäude nicht verlassen. ■ Die Ergebnisse können sehr anschaulich visuell dargestellt werden. ■ Schwachstellen und Feuchtigkeitsbewegungen werden aufgezeigt.	■ Nur Temperaturunterschiede auf der Oberfläche werden erkannt, man kann nicht durch die Wände sehen. ■ Schäden unter der Oberfläche, wie z. B. Schimmel oder Schäden an der Bausubstanz werden nicht erkannt.

27.3.3 Feuchtigkeitsnachweis (1): Industrieflachdächer

27.3.3.1 Allgemeine Informationen

Industrieflachdächer zählen zu den gängigsten Dachkonstruktionen für gewerblich genutzte Gebäude, wie beispielsweise Lagerhäuser, Industrieanlagen, Produktionshallen usw. Ihr entscheidender Vorteil gegenüber Satteldächern sind die geringeren Material- und Baukosten. Da jedoch auf Grund der Bauweise Schnee und Eis nicht von selbst herunterrutschen, wie es bei den meisten Satteldächern der Fall ist, müssen sie stabil gebaut sein, damit sie zusätzlich zur Dachkonstruktion auch noch das Gewicht von Schnee, Eis und Regen tragen können.

Für die Durchführung von Thermografieuntersuchungen an Industrieflachdächern sind Grundkenntnisse zu deren Bauweise wünschenswert, detailliertes Fachwissen ist jedoch nicht erforderlich. Da es eine Vielzahl verschiedener Bauweisen für Industrieflächdächer gibt (hinsichtlich des Materials und auch der Konstruktion), können

Personen, die Infrarotuntersuchungen durchführen, unmöglich alle kennen. Wenn zusätzliche Informationen zu einem bestimmten Dach benötigt werden, können diese in der Regel vom Architekten oder dem Bauunternehmen bereitgestellt werden.

Gängige Ursachen für schadhafte Dächer finden Sie in der Tabelle unten (aus SPIE Thermosense Proceedings Vol. 371 (1982), S. 177).

Ursache	**%**
Mangelhafte Ausführung	47,6
Häufiges Betreten	2,6
Mangelhafte Konstruktion	16,7
Eingeschlossene Feuchtigkeit	7,8
Material	8,0
Alter und Verwitterung	8,4

Folgende Stellen sind anfällig für eindringende Feuchtigkeit:

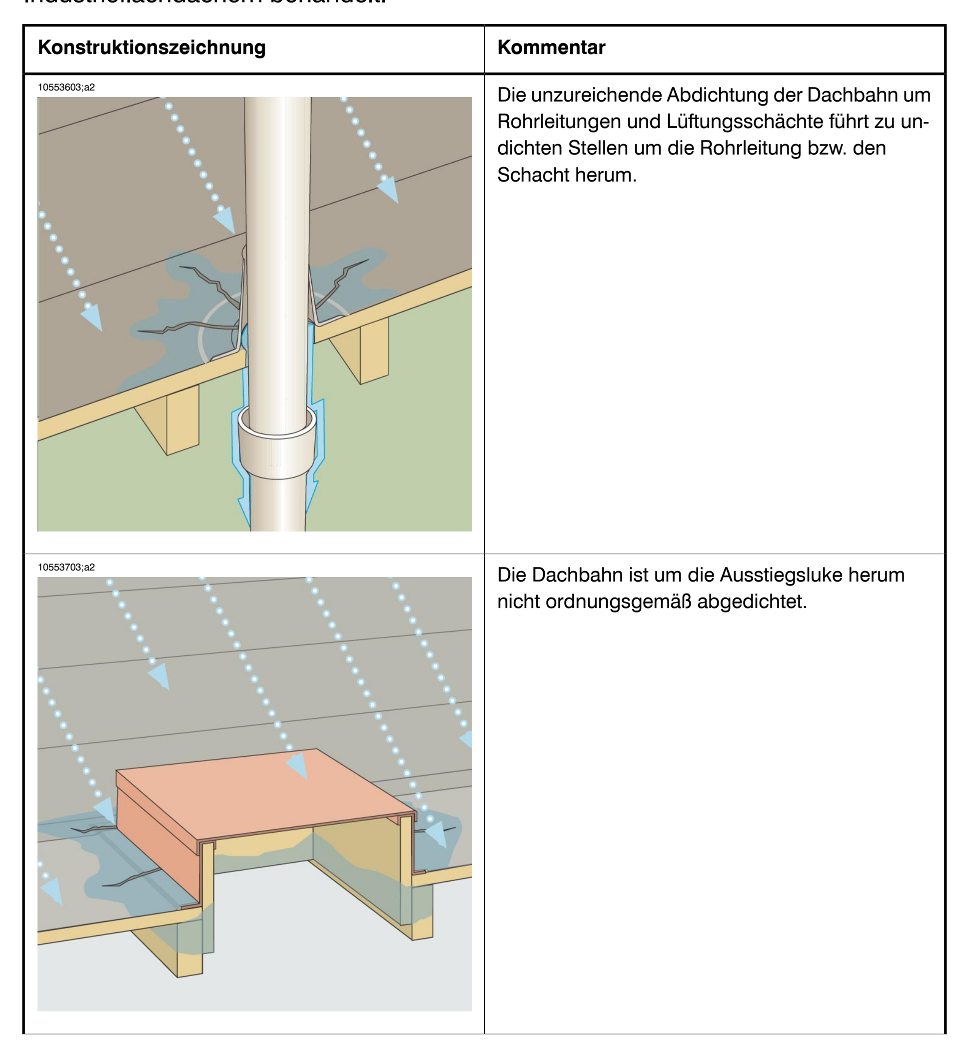
- Dichtungsbleche
- Abflüsse
- Dachöffnungen (Fenster, Kamine usw.)
- Fugen
- Blasen

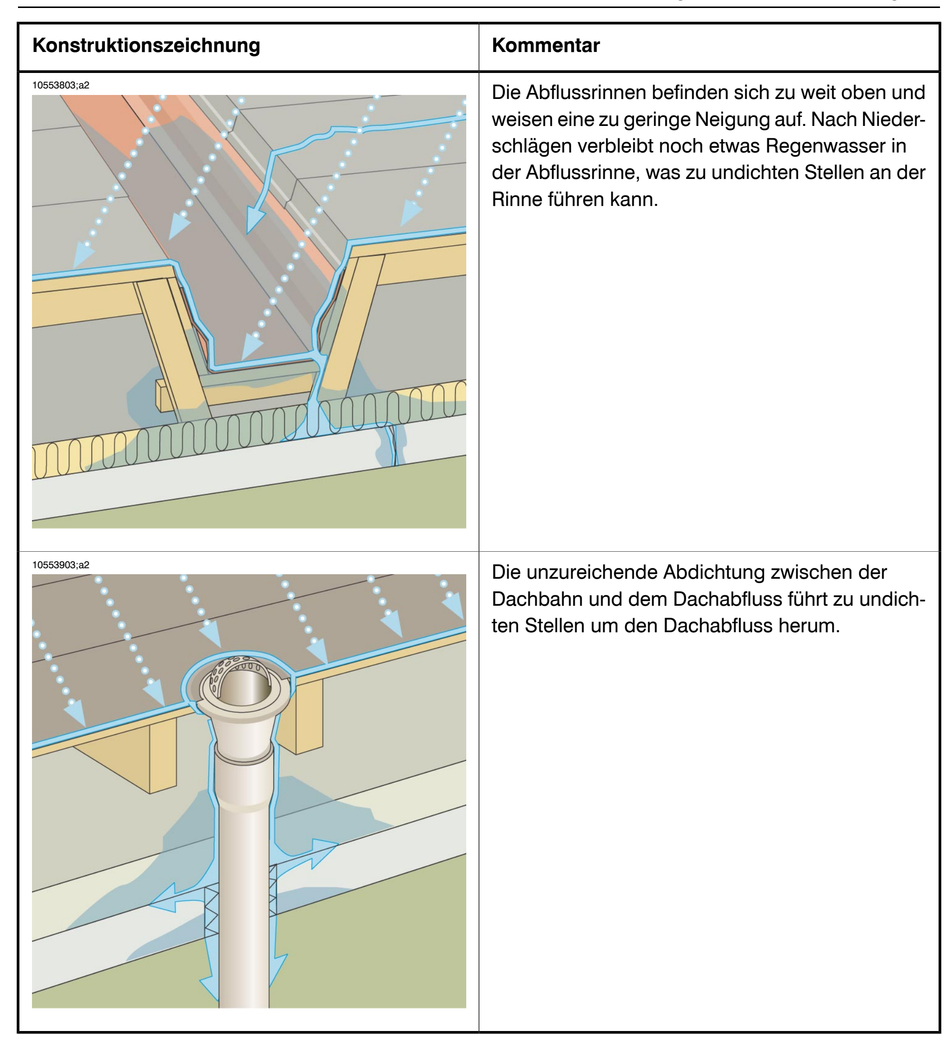
27.3.3.2 Sicherheitsvorkehrungen

- Es sollten sich mindestens zwei Personen, besser aber drei oder vier auf dem Dach befinden.
- Untersuchen Sie die Unterseite des Daches auf Standfestigkeit, bevor Sie es begehen.
- Treten Sie nicht auf Blasen, die sich auf Bitumen-/Kiesdächern häufig bilden.
- Tragen Sie für den Notfall ein Mobiltelefon oder Funkgerät bei sich.
- Verständigen Sie die örtliche Polizeidienststelle und das Sicherheitspersonal der Anlage, bevor Sie nächtliche Untersuchungen vornehmen.

27.3.3.3 Kommentierte Gebäudestrukturen

In diesem Abschnitt werden einige typische Beispiele für Feuchtigkeitsprobleme bei Industrieflachdächern behandelt.

Konstruktionszeichnung	Kommentar
 10553603;a2	Die unzureichende Abdichtung der Dachbahn um Rohrleitungen und Lüftungsschächte führt zu undichten Stellen um die Rohrleitung bzw. den Schacht herum.
10553703;a2	Die Dachbahn ist um die Ausstiegsluke herum nicht ordnungsgemäß abgedichtet.



Konstruktionszeichnung	Kommentar
10553803;a2	Die Abflussrinnen befinden sich zu weit oben und weisen eine zu geringe Neigung auf. Nach Niederschlägen verbleibt noch etwas Regenwasser in der Abflussrinne, was zu undichten Stellen an der Rinne führen kann.
10553903;a2	Die unzureichende Abdichtung zwischen der Dachbahn und dem Dachabfluss führt zu undichten Stellen um den Dachabfluss herum.

27.3.3.4 *Kommentierte Infrarotbilder*

Wie kann festgestellt werden, ob das Dämmmaterial unter der Dachoberfläche feucht ist? Wenn die Oberfläche selbst (einschließlich Kies oder Ballastmaterial) trocken ist, wird das gesamte Dach an einem sonnigen Tag aufgeheizt. Bei klarem Himmel beginnt sich das Dach am frühen Abend durch Wärmeabstrahlung abzukühlen. Aufgrund seiner höheren Wärmekapazität bleibt das feuchte Dämmmaterial länger warm als trockene Stellen. Dies ist auf der Infrarotkamera zu sehen (vgl. Fotos unten). Diese Technik eignet sich insbesondere für Dächer mit saugfähigem Dämmmaterial — wie Holz, Glasfasern oder Perlit —, dessen Wärmemuster nahezu perfekt auf Feuchtigkeit abgestimmt ist.

Infrarotuntersuchungen von Dächern, die mit nicht saugfähigem Dämmmaterial ausgestattet sind, was bei vielen einschaligen Aufbauten der Fall ist, sind schwerer zu analysieren, da die Muster hier weniger eindeutig sind.

In diesem Abschnitt werden einige typische Infrarotbilder für Feuchtigkeitsprobleme bei Industrieflachdächern behandelt:

Infrarotbild	Kommentar
10554003;a1	Feuchtigkeitsnachweis auf einem Dach, abends aufgenommen. Da der von der Feuchtigkeit betroffene Baustoff eine höhere Wärmeträgheit aufweist, nimmt die Temperatur dort langsamer ab als in den umliegenden Bereichen.
10554103;a1 Courtesy Professional Investigative Engineers	Dachkomponenten und Dämmmaterialien mit Wasserschaden, ermittelt anhand einer Infrarotuntersuchung von der Unterseite des Daches. Die betroffenen Bereiche sind auf Grund der Auswirkungen der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Wärmekapazität kühler als die umliegenden intakten Bereiche.
10554203;a1	Untersuchung eines Industrieflachdachs (tagsüber) Die betroffenen Bereiche sind auf Grund der Auswirkungen der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Wärmekapazität kühler als die umliegenden trockenen Bereiche.

Publ. No. T559651 Rev. a540 – GERMAN (DE) – May 25, 2011

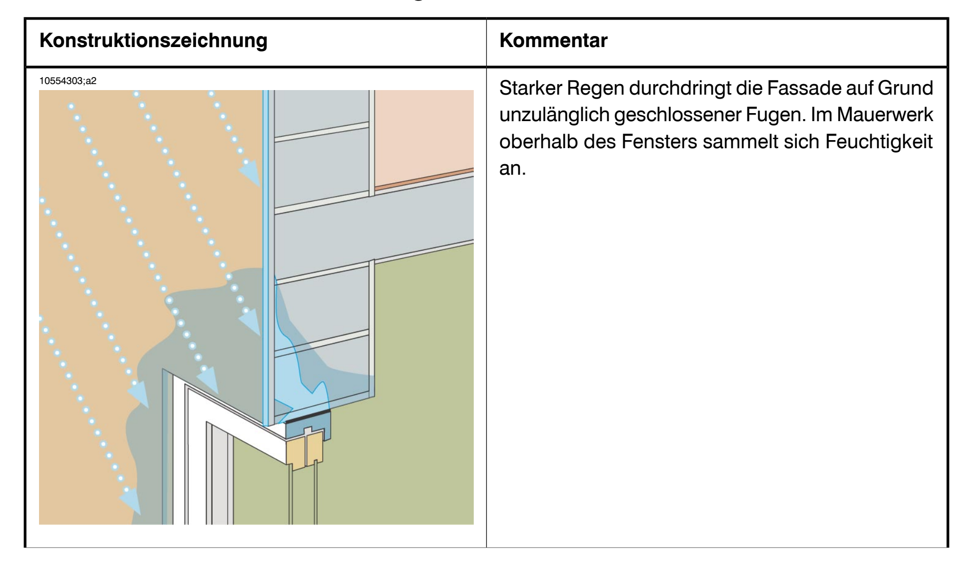
27.3.4 Feuchtigkeitsnachweis (2): Fassaden von Industrie- und Wohngebäuden

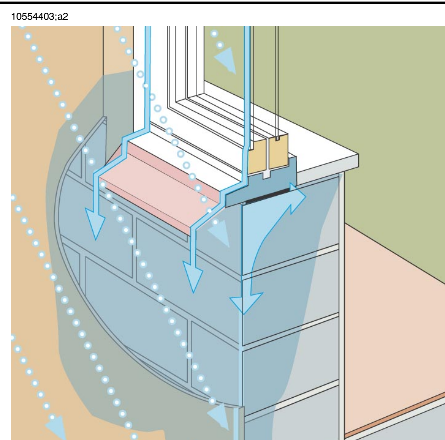
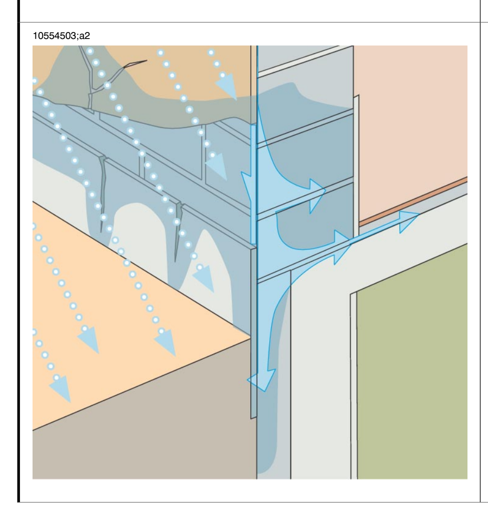
27.3.4.1 Allgemeine Informationen

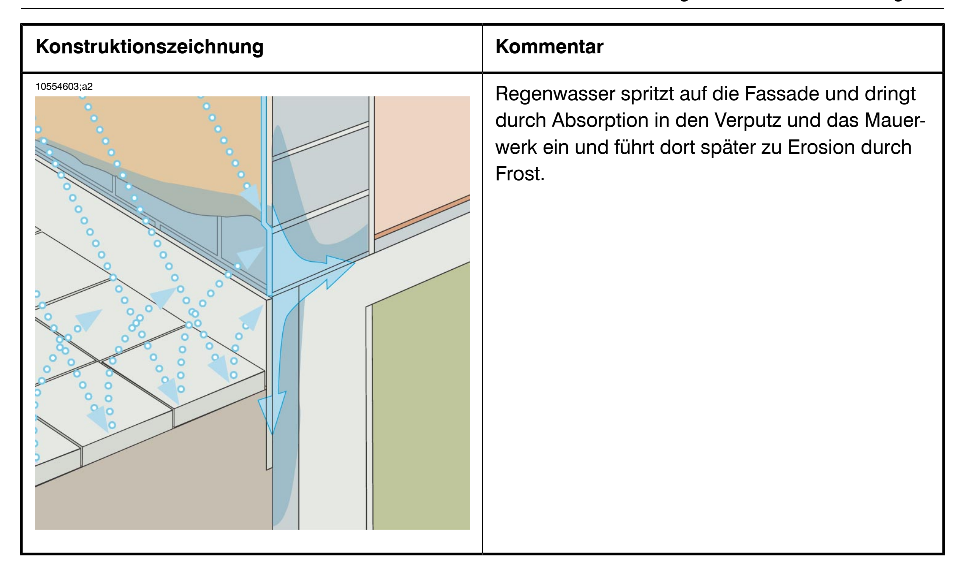
Bei der Bewertung des Eindringens von Flüssigkeit in die Fassaden von Industrie- und Wohngebäuden ist die Thermografie unverzichtbar. Die physische Darstellung von Feuchtigkeitsverteilungen ist schlüssiger als die Extrapolation der Feuchtigkeit, die sich aus Messungen an verschiedenen Standorten ergibt und kostengünstiger als große, nicht zerstörungsfreie Probebohrungen.

27.3.4.2 Kommentierte Gebäudestrukturen

In diesem Abschnitt werden einige typische Beispiele für Feuchtigkeitsprobleme bei Fassaden von Industrie- und Wohngebäuden behandelt.

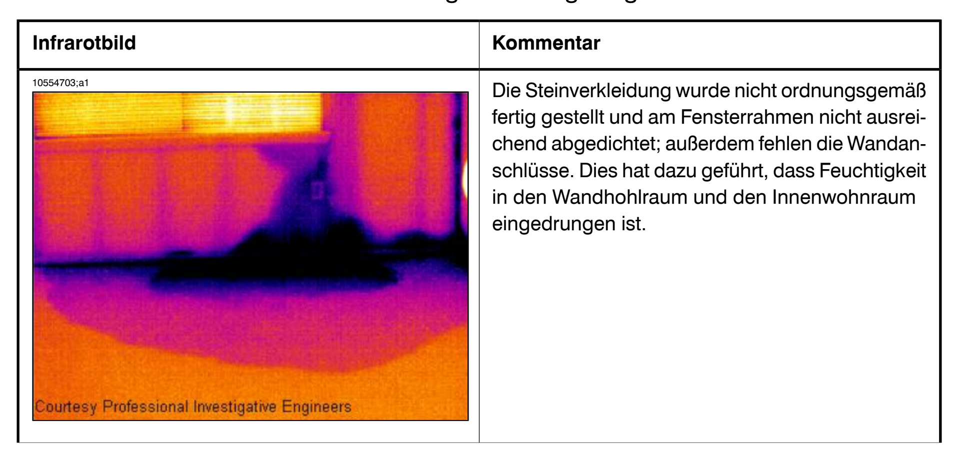
Konstruktionszeichnung	**Kommentar**
	Starker Regen durchdringt die Fassade auf Grund unzulänglich geschlossener Fugen. Im Mauerwerk oberhalb des Fensters sammelt sich Feuchtigkeit an.

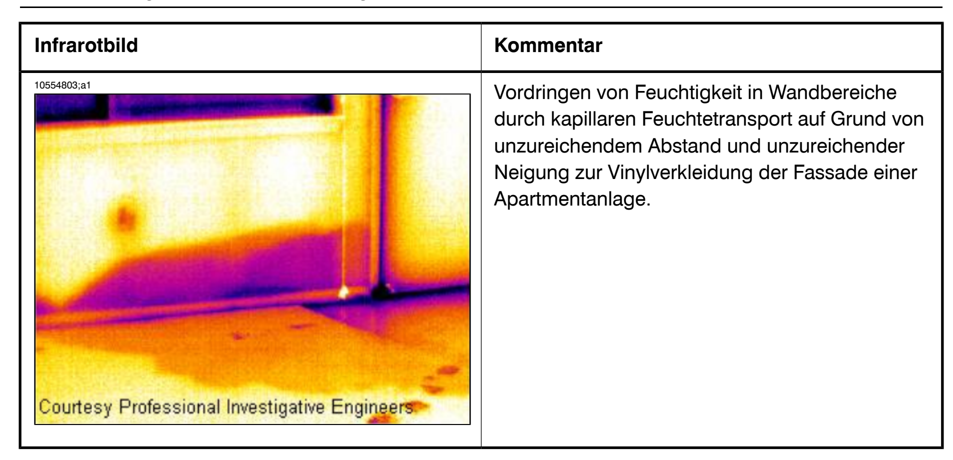
Konstruktionszeichnung	Kommentar
10554403;a2 	Starker Regen fällt in einem bestimmten Winkel auf das Fenster. Der größte Teil des Regens läuft über das Fensterbrett ab, ein Teil gelangt jedoch in das Mauerwerk, wo der Verputz die Unterseite der Sohlbankabdeckung berührt.
10554503;a2 	Regen trifft in einem bestimmten Winkel auf die Fassade und dringt durch Risse in den Verputz ein. Das Wasser läuft auf der Innenseite des Verputzes weiter und führt zu Erosion durch Frost.

Konstruktionszeichnung	Kommentar
10554603;a2 	Regenwasser spritzt auf die Fassade und dringt durch Absorption in den Verputz und das Mauerwerk ein und führt dort später zu Erosion durch Frost.

27.3.4.3 Kommentierte Infrarotbilder

In diesem Abschnitt werden einige typische Infrarotbilder für Feuchtigkeitsprobleme bei Fassaden von Industrie- und Wohngebäuden gezeigt.

Infrarotbild	Kommentar
10554703;a1 	Die Steinverkleidung wurde nicht ordnungsgemäß fertig gestellt und am Fensterrahmen nicht ausreichend abgedichtet; außerdem fehlen die Wandanschlüsse. Dies hat dazu geführt, dass Feuchtigkeit in den Wandhohlraum und den Innenwohnraum eingedrungen ist.

Infrarotbild	Kommentar
10554803;a1 	Vordringen von Feuchtigkeit in Wandbereiche durch kapillaren Feuchtetransport auf Grund von unzureichendem Abstand und unzureichender Neigung zur Vinylverkleidung der Fassade einer Apartmentanlage.

27.3.5 Feuchtigkeitsnachweis (3): Gebäudefreiflächen und Balkone

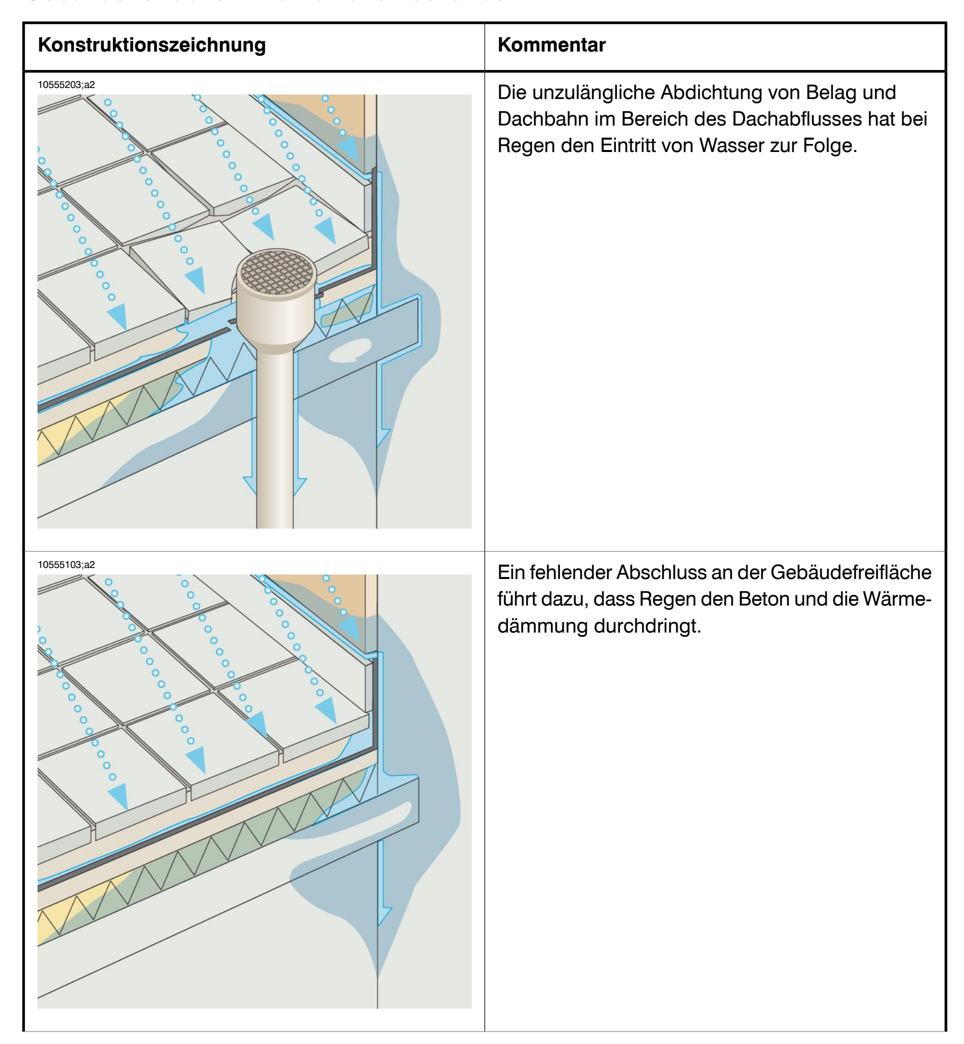
27.3.5.1 Allgemeine Informationen

Obwohl sich Bauweise, Materialien und Konstruktion unterscheiden, treten bei Gebäudefreiflächen wie Dachterrassen oder Podesten dieselben Probleme mit Feuchtigkeit und dem Eintreten von Flüssigkeit auf wie bei Industrieflachdächern. Unzureichende Wandanschlüsse, unzulänglich abgedichtete Bahnen und eine ungenügende Entwässerung können bei den nachfolgenden Gebäudestrukturen erhebliche Schäden verursachen.

Balkone sind zwar relativ klein, stellen jedoch dieselben Anforderungen an Bauweise, Materialwahl und handwerkliche Fähigkeiten wie andere Gebäudeteile. Da Balkone normalerweise nur von einer Seite getragen werden, kann Feuchtigkeit bei den Verstrebungen und Betonverstärkungen zu Korrosion führen und somit gefährliche Situationen herbeiführen.

27.3.5.2 *Kommentierte Gebäudestrukturen*

In diesem Abschnitt werden einige typische Beispiele für Feuchtigkeitsprobleme an Gebäudefreiflächen und Balkonen behandelt.

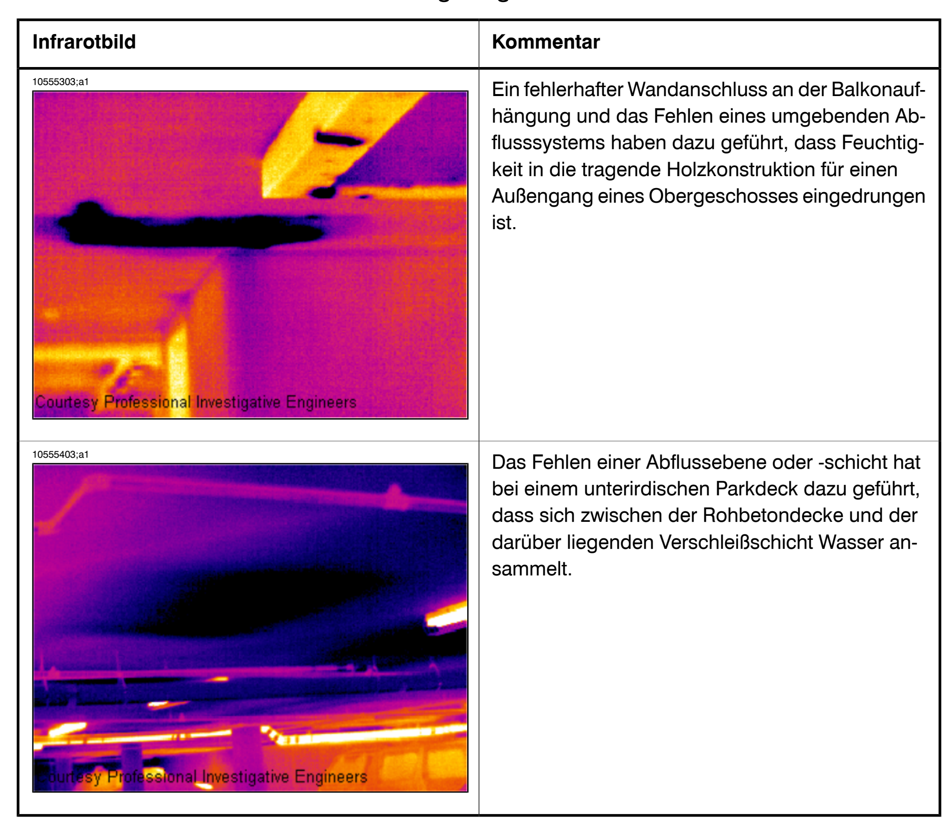


Konstruktionszeichnung	Kommentar
10555203;a2	Die unzulängliche Abdichtung von Belag und Dachbahn im Bereich des Dachabflusses hat bei Regen den Eintritt von Wasser zur Folge.
10555103;a2	Ein fehlender Abschluss an der Gebäudefreifläche führt dazu, dass Regen den Beton und die Wärmedämmung durchdringt.

Konstruktionszeichnung	Kommentar
10555003;a2	Auf Grund der geringen Größe der Schürze ist Wasser in den Beton eingedrungen. Beton und Bewehrung beginnen sich zu zersetzen. SICHERHEITSRISIKO!
10554903;a2	Wasser ist im Bereich der Geländerbefestigung an der Wand in den Verputz und das Mauerwerk darunter eingedrungen. SICHERHEITSRISIKO!

27.3.5.3 Kommentierte Infrarotbilder

In diesem Abschnitt werden einige typische Infrarotbilder für Feuchtigkeitsprobleme an Gebäudefreiflächen und Balkonen gezeigt.



Infrarotbild	**Kommentar**
10555303;a1 Courtesy Professional Investigative Engineers	Ein fehlerhafter Wandanschluss an der Balkonaufhängung und das Fehlen eines umgebenden Abflusssystems haben dazu geführt, dass Feuchtigkeit in die tragende Holzkonstruktion für einen Außengang eines Obergeschosses eingedrungen ist.
10555403;a1 Courtesy Professional Investigative Engineers	Das Fehlen einer Abflussebene oder -schicht hat bei einem unterirdischen Parkdeck dazu geführt, dass sich zwischen der Rohbetondecke und der darüber liegenden Verschleißschicht Wasser ansammelt.

27.3.6 Feuchtigkeitsnachweis (4): Rohrbrüche und Leckagen

27.3.6.1 Allgemeine Informationen

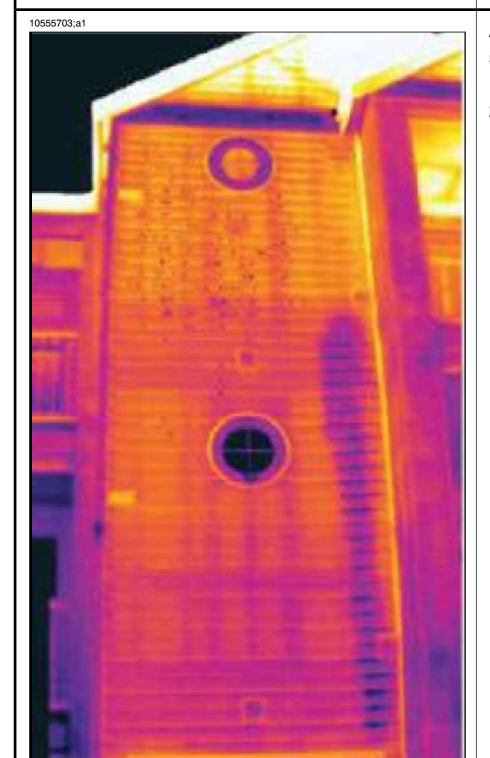
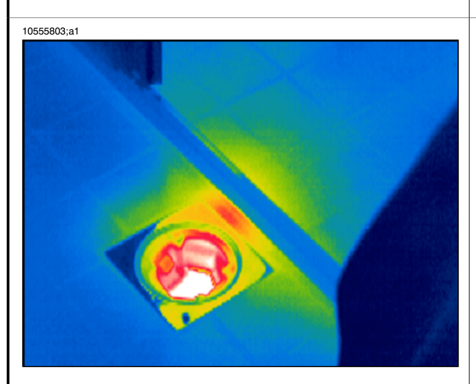
Wasser aus undichten Leitungen führt häufig zu erheblichen Gebäudeschäden. Kleine Leckagen machen sich unter Umständen nur wenig bemerkbar, können jedoch im Laufe der Zeit tragende Wände und Fundamente so schwer schädigen, dass das Gebäude nicht mehr saniert werden kann.

Der rechtzeitige Einsatz der Gebäudethermografietechnik bei Verdacht auf Rohrbrüche bzw. Leckagen kann Material- und Handwerkerkosten erheblich reduzieren.

27.3.6.2 *Kommentierte Infrarotbilder*

In diesem Abschnitt werden einige typische Infrarotbilder von Rohrbrüchen und Leckagen gezeigt.

Infrarotbild	Kommentar
10555503;a1 Courtesy Professional Investigative Engineers	Feuchtigkeitsverteilung entlang der Stahlträgerkanäle in der Decke eines Einfamilienhauses nach dem Bruch einer Rohrleitung.
10555603;a1 Courtesy Professional Investigative Engineers	Das Wasser hat sich weiter ausgebreitet als ursprünglich vom Bauunternehmer erwartet, als dieser zu Sanierungszwecken den Teppichboden aufschnitt und Entfeuchter aufstellte.

Infrarotbild	Kommentar
10555703;a1 	Auf dem Infrarotbild dieses 3-stöckigen Wohnhauses ist der Verlauf des aus einer Waschmaschine im 3. Stockwerk ausgeströmten Wassers deutlich zu erkennen. Die Durchfeuchtung erfolgte von innen nach außen.
10555803;a1 	Eindringen von Wasser auf Grund von unzureichender Abdichtung zwischen Fußbodenablauf und Kacheln.

27.3.7 Luftinfiltration

27.3.7.1 Allgemeine Informationen

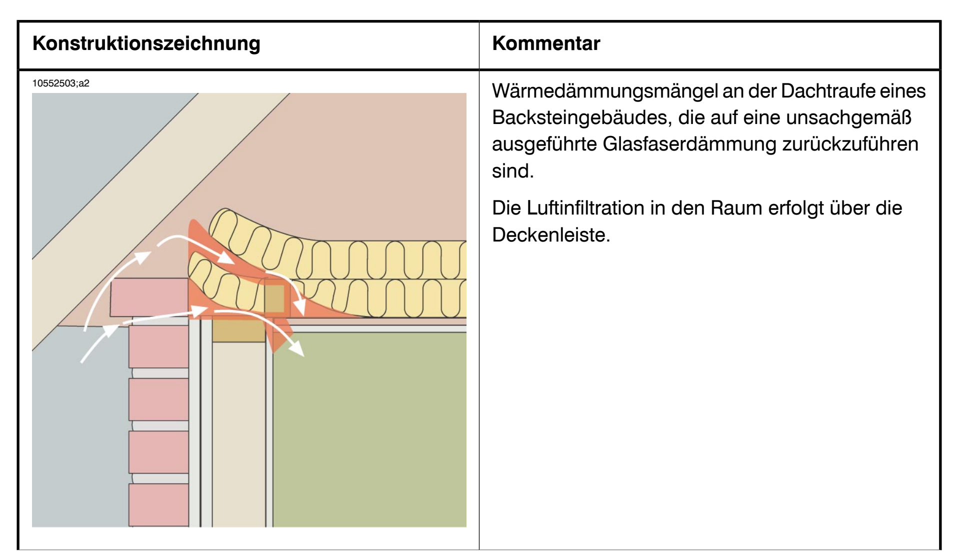
Auf Grund des Winddrucks auf ein Gebäude, der Temperaturunterschiede zwischen dem Gebäudeinneren und -äußeren und der bei den meisten Gebäuden verwendeten Abluftanlagen entsteht normalerweise ein Unterdruck von 2 – 5 Pa. Führt dieser Unterdruck dazu, dass wegen Mängeln an der Wärmedämmung und/oder der Abdichtung des Gebäudes kalte Luft eindringt, handelt es sich hierbei um die so genannte *Luftinfiltration*. Die Luftinfiltration ist vor allem an Fugen und Nähten in Gebäudestrukturen zu erwarten.

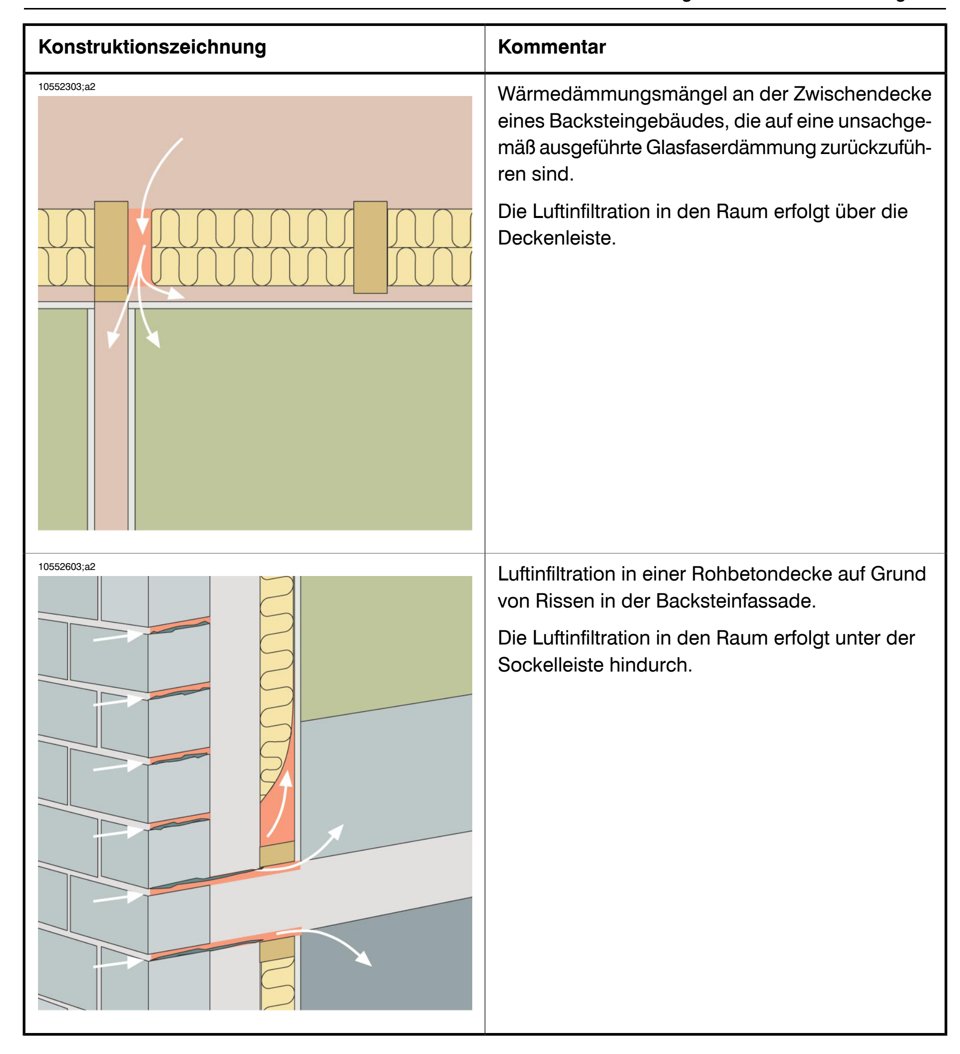
Da durch Luftinfiltration in einen Raum kalte Zugluft entsteht, kann das Raumklima erheblich beeinträchtigt werden. Die Bewohner des Raums bemerken normalerweise bereits einen Luftstrom von nur 0,15 m/s, auch wenn ein solcher Luftstrom mit herkömmlichen Messgeräten kaum nachweisbar ist.

Auf einem Infrarotbild kann eine Luftinfiltration anhand ihres typischen Strahlungsmusters identifiziert werden, das von der entsprechenden undichten Stelle im Gebäude ausgeht, wie beispielsweise einer Sockelleiste. In Bereichen mit Luftinfiltration wird normalerweise auch eine niedrigere Temperatur gemessen als in Bereichen, bei denen lediglich die Wärmedämmung mangelhaft ist. Dies liegt am Auskühlungsfaktor des Luftstroms.

27.3.7.2 Kommentierte Gebäudestrukturen

In diesem Abschnitt werden einige typische Beispiele für Gebäudeteile mit möglicher Luftinfiltration behandelt.

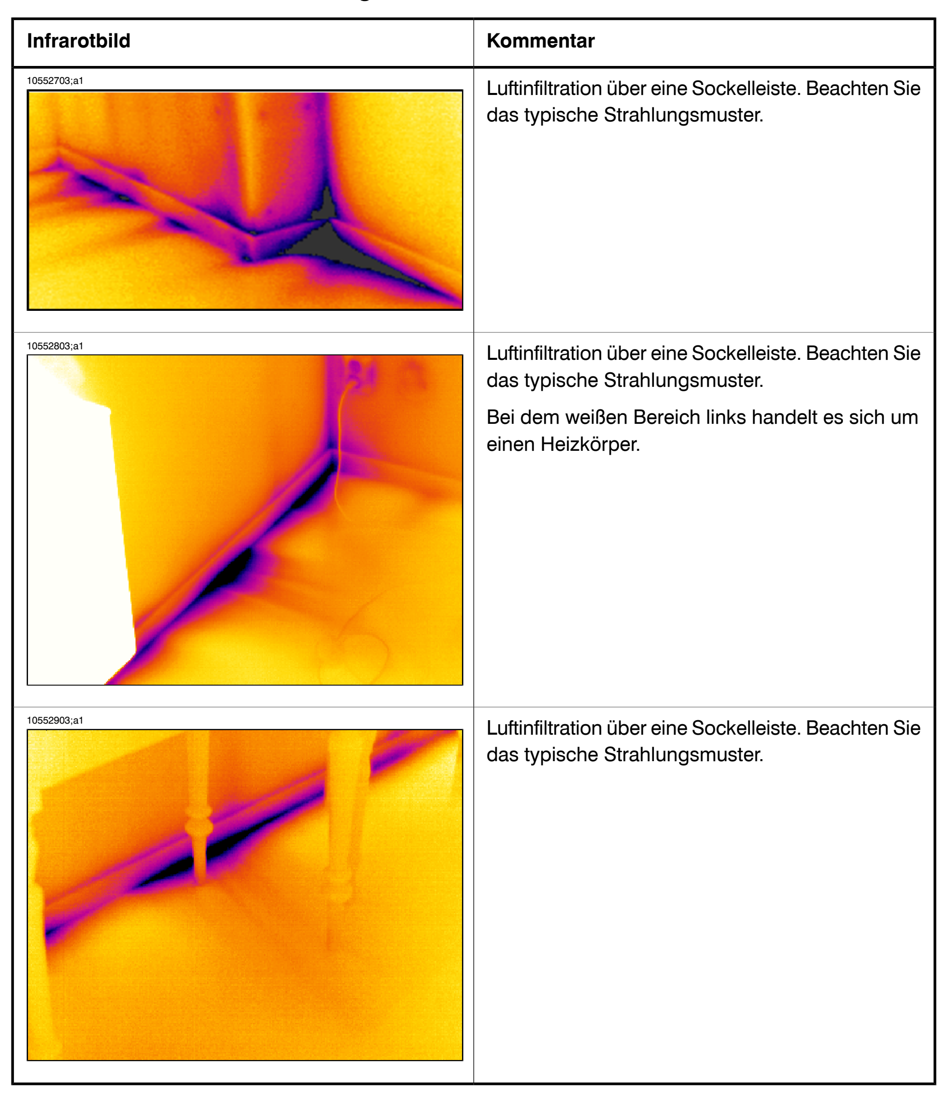
Konstruktionszeichnung	**Kommentar**
	Wärmedämmungsmängel an der Dachtraufe eines Backsteingebäudes, die auf eine unsachgemäß ausgeführte Glasfaserdämmung zurückzuführen sind. Die Luftinfiltration in den Raum erfolgt über die Deckenleiste.



Konstruktionszeichnung	Kommentar
10552303;a2	Wärmedämmungsmängel an der Zwischendecke eines Backsteingebäudes, die auf eine unsachgemäß ausgeführte Glasfaserdämmung zurückzuführen sind. Die Luftinfiltration in den Raum erfolgt über die Deckenleiste.
10552603;a2	Luftinfiltration in einer Rohbetondecke auf Grund von Rissen in der Backsteinfassade. Die Luftinfiltration in den Raum erfolgt unter der Sockelleiste hindurch.

27.3.7.3 Kommentierte Infrarotbilder

In diesem Abschnitt werden einige typische Infrarotbilder von Gebäudeteilen gezeigt, in denen eine Luftinfiltration aufgetreten ist.



Infrarotbild	Kommentar
10552703;a1	Luftinfiltration über eine Sockelleiste. Beachten Sie das typische Strahlungsmuster.
10552803;a1	Luftinfiltration über eine Sockelleiste. Beachten Sie das typische Strahlungsmuster. Bei dem weißen Bereich links handelt es sich um einen Heizkörper.
10552903;a1	Luftinfiltration über eine Sockelleiste. Beachten Sie das typische Strahlungsmuster.

27.3.8 Wärmedämmungsmängel

27.3.8.1 Allgemeine Informationen

Wärmedämmungsmängel führen nicht unbedingt zu einer Luftinfiltration. Bei einer unsachgemäß angebrachten Glasfaserdämmung bilden sich in der Gebäudestruktur Luftblasen. Da diese Luftblasen eine andere Wärmeleitfähigkeit aufweisen als Bereiche mit einer sachgemäß angebrachten Dämmung können sie durch eine Thermografieuntersuchung an Gebäuden nachgewiesen werden.

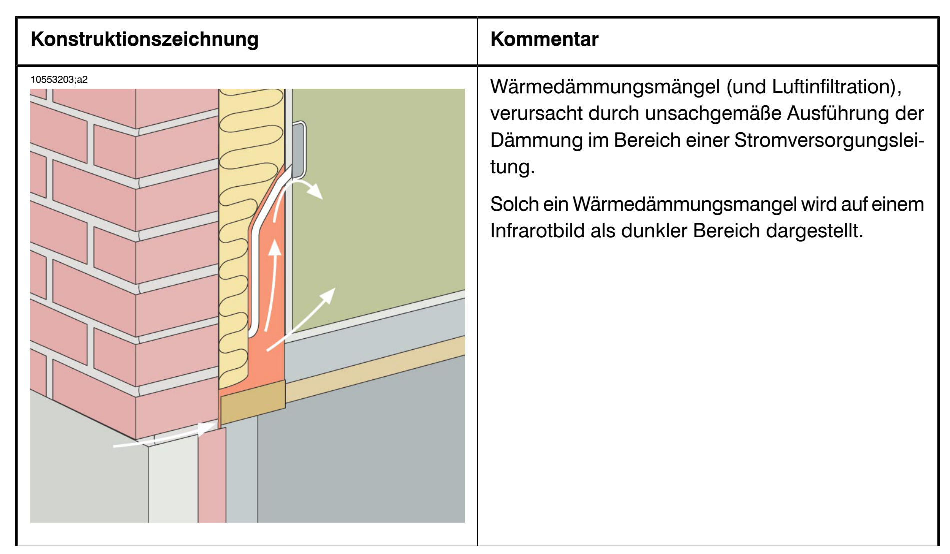
Als Faustregel gilt, dass in Bereichen mit Wärmedämmungsmängeln höhere Temperaturen gemessen werden als an Stellen, an denen lediglich eine Luftinfiltration besteht.

Wenn mit Hilfe einer Thermografieuntersuchung Wärmedämmungsmängel an einem Gebäude nachgewiesen werden sollen, beachten Sie, dass folgende Elemente auf einem Infrarotbild wie Wärmedämmungsmängel aussehen können:

- Holzträger, Bolzen, Sparren, Balken
- Stahlträger und -balken
- Wasserrohrleitungen in Wänden, Decken und Fußböden
- Elektrische Installationen in Wänden, Decken und Fußböden (beispielsweise Leitungen, Kabelkanäle usw.)
- Betonpfeiler unter Holzverkleidungen
- Lüftungsschächte und -kanäle

27.3.8.2 Kommentierte Gebäudestrukturen

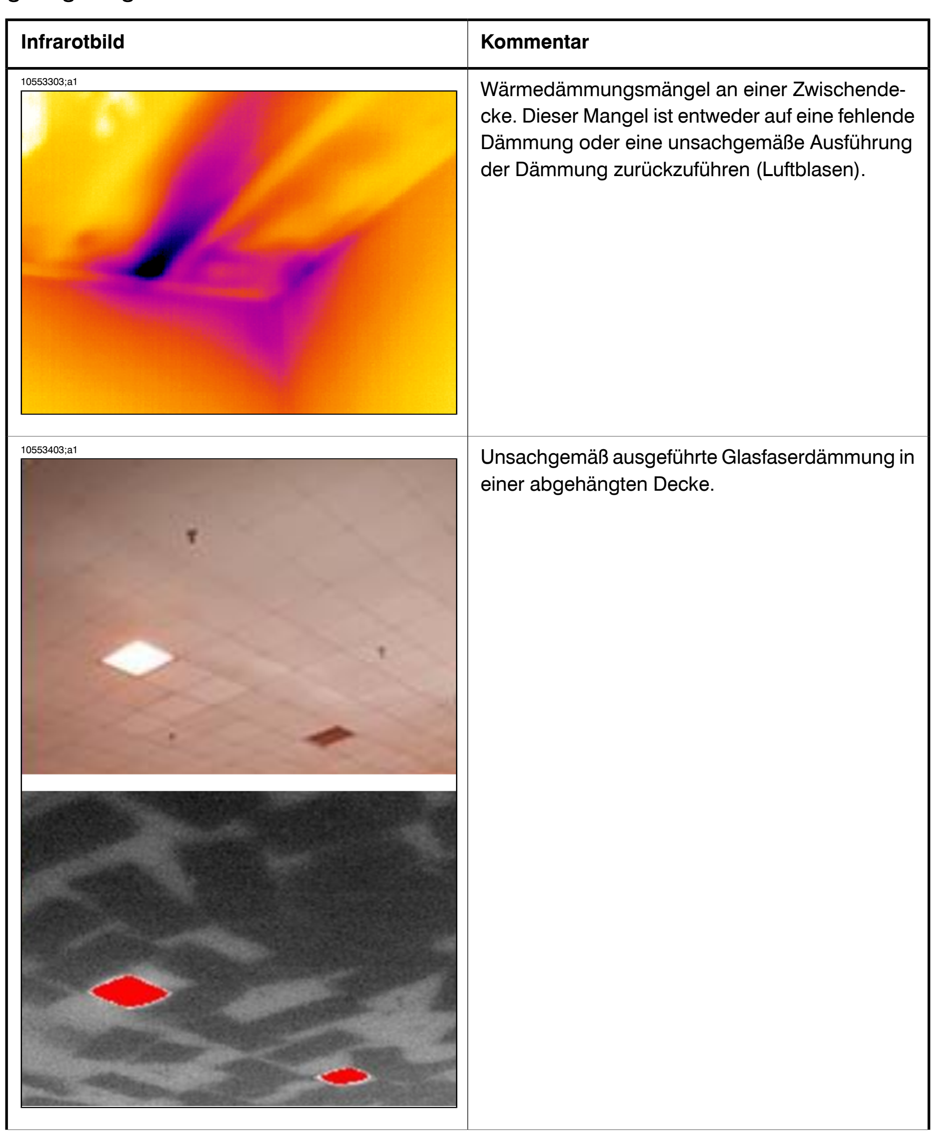
In diesem Abschnitt werden einige typische Beispiele für Gebäudeteile mit Wärmedämmungsmängeln behandelt:

Konstruktionszeichnung	**Kommentar**
	Wärmedämmungsmängel (und Luftinfiltration), verursacht durch unsachgemäße Ausführung der Dämmung im Bereich einer Stromversorgungsleitung. Solch ein Wärmedämmungsmangel wird auf einem Infrarotbild als dunkler Bereich dargestellt.

Konstruktionszeichnung	Kommentar
10553103;a2	Wärmedämmungsmängel verursacht durch unsachgemäße Ausführung der Dämmung im Bereich eines Dachstuhlbalkens. Kaltluft dringt ein und senkt die Temperatur auf der Deckeninnenseite. Solch ein Wärmedämmungsmangel wird auf einem Infrarotbild als dunkler Bereich dargestellt.
10553003;a2	Wärmedämmungsmängel durch unsachgemäße Ausführung der Dämmung, wodurch sich an der Außenseite einer Schrägdecke eine Luftblase gebildet hat. Solch ein Wärmedämmungsmangel wird auf einem Infrarotbild als dunkler Bereich dargestellt.

27.3.8.3 *Kommentierte Infrarotbilder*

In diesem Abschnitt werden einige typische Infrarotbilder von Wärmedämmungsmängeln gezeigt.



Infrarotbild	Kommentar
10553303;a1	Wärmedämmungsmängel an einer Zwischendecke. Dieser Mangel ist entweder auf eine fehlende Dämmung oder eine unsachgemäße Ausführung der Dämmung zurückzuführen (Luftblasen).
10553403;a1	Unsachgemäß ausgeführte Glasfaserdämmung in einer abgehängten Decke.

Infrarotbild	Kommentar
10553503;a1	Wärmedämmungsmängel an einer Zwischendecke. Dieser Mangel ist entweder auf eine fehlende Dämmung oder eine unsachgemäße Ausführung der Dämmung zurückzuführen (Luftblasen).

27.4 Theorie des Bauingenieurwesens

27.4.1 Allgemeine Informationen

Die Nachfrage nach energiesparender Bauweise ist in der letzten Zeit deutlich gestiegen. Die Entwicklungen im Energiebereich haben zusammen mit den erhöhten Anforderungen an ein angenehmes Raumklima dazu geführt, dass sowohl der Wärmedämmung und der Luftdichtigkeit eines Gebäudes als auch der Effizienz seiner Heizungs- und Lüftungssysteme immer mehr Bedeutung beigemessen wird.

Mangelhafte Wärmedämmung und Dichtigkeit bei stark gedämmten und luftdichten Strukturen können erhebliche Energieverluste verursachen. Mängel an der Wärmedämmung eines Gebäudes und eine unzureichende Luftdichtigkeit bergen nicht nur das Risiko hoher Heiz- und Wartungskosten, sondern verschlechtern auch das Raumklima.

Der Grad der Wärmedämmung eines Gebäudes wird häufig als Wärmedurchgang oder als Wärmedurchgangskoeffizient (Wert U) für die verschiedenen Gebäudeteile angegeben. Die angegebenen Werte für den Wärmedurchgang sind jedoch selten ein Maßstab für die tatsächlichen Energieverluste eines Gebäudes. Luft, die über nicht luftdichte oder unzureichend gedämmte Fugen und Anschlüsse eindringt, führt häufig zu beträchtlichen Abweichungen von den errechneten und prognostizierten Werten.

Anhand von Labortests wird überprüft, ob Materialien und Bauelemente die zugesagten Eigenschaften aufweisen. Fertig gestellte Gebäude müssen überprüft werden, um sicherzustellen, dass die Wärmedämmungs- und Dichtungselemente die Vorgaben erfüllen.

Im Rahmen des ingenieurwissenschaftlichen Einsatzes wird die Thermografie zur Untersuchung von Temperaturunterschieden auf Gebäudeoberflächen herangezogen. Abweichungen beim Wärmedurchgang einer Gebäudestruktur können unter bestimmten Bedingungen zu Temperaturunterschieden auf den Gebäudeoberflächen führen. Das Eindringen von Kaltluft (oder Warmluft) in das Gebäude wirkt sich auch auf die Oberflächentemperatur aus. Daher können Mängel an der Wärmedämmung, Wärmebrücken und Lufteinbrüche in den äußeren Bauelementen des Gebäudes ermittelt und bewertet werden.

Mit der Thermografie können der Wärmedurchgang und die Luftdichtigkeit eines Gebäudes nicht unmittelbar festgestellt werden. Wenn der Wärmedurchgang oder die Luftdichtigkeit bestimmt werden soll, müssen zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden. Für eine thermografische Analyse von Gebäuden müssen bestimmte Voraussetzungen hinsichtlich der Temperatur- und Druckbedingungen in der gesamten Gebäudestruktur erfüllt sein.

Details, Umrisse und Kontraste auf dem Wärmebild können bei einer Änderung eines dieser Parameter erheblich abweichen. Für eine ausführliche Analyse und Auswertung von Wärmebildern sind daher fundierte Kenntnisse bezüglich der Eigenschaften von Materialien und Strukturen, der Auswirkungen des Klimas und der modernsten Messtechniken erforderlich. Für die Auswertung der Messergebnisse gelten bestimmte Voraussetzungen hinsichtlich des Fachwissens und der Erfahrung der Personen, die die Messungen durchführen; d. h. diese sollten von einer nationalen oder regionalen Regulierungsbehörde zugelassen sein.

27.4.2 Vorteile von Untersuchungen und Prüfungen

Eine Vorhersage bezüglich der Effizienz der Wärmedämmung und Luftdichtigkeit eines fertig gestellten Gebäudes kann unter Umständen schwierig sein. Bei der Montage der verschiedenen Komponenten und Bauelemente sind bestimmte Faktoren beteiligt, die sich erheblich auf das Endergebnis auswirken können. Die Auswirkungen von Transport, Bearbeitung und Lagerung vor Ort und der Arbeitsablauf können nicht vorab kalkuliert werden. Um die Einhaltung der Vorgaben zu gewährleisten, muss das fertig gestellte Gebäude untersucht und geprüft werden.

Durch moderne Wärmedämmungstechniken hat sich der theoretische Heizbedarf verringert. Dies bedeutet jedoch auch, dass durch Mängel, die vergleichsweise geringfügig sind, jedoch an wichtigen Stellen auftreten, wie beispielsweise undichte Fugen oder unsachgemäß ausgeführte Dämmungen, Wärme und Komfort erheblich beeinträchtigt werden können. Überprüfungen mit Hilfe der Thermografie haben sich sowohl für Bauingenieure als auch für Bauunternehmer, Bauträger, Verwalter und Nutzer als wertvoll erwiesen.

- Für den Bauingenieur ist es am wichtigsten, die Funktionsweise verschiedener Typen von Gebäudestrukturen zu kennen, damit bei der Planung sowohl Arbeitsmethoden als auch funktionelle Anforderungen berücksichtigt werden können. Der Bauingenieur muss außerdem wissen, welches Ergebnis durch verschiedene Materialien und Kombinationen von Materialien in der Praxis erzielt wird. Um den diesbezüglichen Anforderungen gerecht zu werden, ist es sinnvoll, effektive Untersuchungen und Prüfungen durchzuführen und Erfahrungswerte zu sammeln.
- Der Bauunternehmer hat ein Interesse an umfangreicheren Untersuchungen, um sicherzustellen, dass die Gebäude die geplante Funktion erfüllen und somit den behördlichen Bestimmungen und in Verträgen festgehaltenen Anforderungen genügen. Der Bauunternehmer muss so früh wie möglich wissen, ob Änderungen vonnöten sind, um systematische Mängel vermeiden zu können Während der Bauarbeiten an einem Großbauprojekt sollte außerdem eine Prüfung der ersten fertig gestellten Wohnungen durchgeführt werden. Weitere Prüfungen erfolgen im Verlauf der Bauarbeiten. Auf diese Weise können systematische Mängel verhindert sowie überflüssige Kosten und zukünftige Probleme vermieden werden. Diese Prüfungen sind sowohl für den Bauunternehmer als auch für die Nutzer von Vorteil.

- Für Bauträger und Verwalter ist von entscheidender Bedeutung, dass Gebäude hinsichtlich der Wärmewirtschaft, des Wartungsaufwands (Schäden durch Nässe oder Eindringen von Feuchtigkeit) und hinsichtlich des Komforts für die Bewohner (z. B. in Bezug auf kalte Oberflächen und Luftströmungen in Wohnräumen) geprüft werden.
- Für den Nutzer ist am wichtigsten, dass das Endprodukt die zugesicherten Anforderungen an die Wärmedämmung und Luftdichtigkeit von Gebäuden erfüllt. Für eine Einzelperson stellt ein Hauskauf eine erhebliche finanzielle Belastung dar. Daher möchte der Käufer sicher sein, dass mögliche Mängel am Bau keine größeren finanziellen oder gesundheitlichen Folgen haben.

Die Vorteile der Untersuchung und Prüfung der Wärmedämmung und Luftdichtigkeit von Gebäuden sind sowohl physiologischer als auch finanzieller Natur.

Die Wahrnehmung des Raumklimas ist in physiologischer Hinsicht sehr subjektiv; sie ist abhängig von der individuellen Wärmebilanz des menschlichen Körpers und von der individuellen Temperaturwahrnehmung. Wie das Raumklima empfunden wird, hängt von der Lufttemperatur im Rauminneren und der Temperatur der umliegenden Oberflächen ab. Die Geschwindigkeit, mit der die Luft in den Innenräumen zirkuliert, und deren Feuchtigkeitsgehalt spielen ebenfalls eine Rolle. In physiologischer Hinsicht bewirkt ein Luftzug das Empfinden einer lokalen Abkühlung der Körperoberfläche durch:

- übermäßige Luftströmungen im Wohnraum bei normaler Lufttemperatur
- normale Luftströmungen im Wohnraum bei zu geringer Lufttemperatur
- erheblichen Wärmestrahlungsaustausch mit einer kalten Oberfläche

Es ist schwierig zu beurteilen, in welchem Maße sich Untersuchungen und Prüfungen an einem Gebäude auf dessen Wärmedämmung auswirken.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die erwarteten Wärmeverluste durch Mängel an der Wärmedämmung und der Luftdichtigkeit von Gebäuden um 20 – 30 % steigen. Dies wurde durch Kontrollen des Energieverbrauchs vergleichsweise großer Wohnanlagen mit kleinen Gebäuden und großer Mehrfamilienhäuser vor und nach Reparaturarbeiten bestätigt. Die angeführten Zahlen sind wahrscheinlich nicht repräsentativ für Gebäude im Allgemeinen, da die Untersuchungsergebnisse nicht für die gesamte Gebäudesubstanz relevant sein können. Auch bei einer vorsichtigen Einschätzung käme man jedoch zu dem Ergebnis, dass wirksame Untersuchungen und Prüfungen der Wärmedämmung und der Luftdichtigkeit eines Gebäudes eine Senkung des Energieverbrauchs um etwa 10 % bewirken können.

Die Forschungsergebnisse zeigen außerdem, dass ein mit Mängeln zusammenhängender erhöhter Energieverbrauch häufig von Bewohnern verursacht wird, die die Innentemperatur um ein oder mehrere Grad gegenüber der normalen Raumtemperatur erhöhen, um den störenden Effekt der Wärmeabstrahlung an kalte Oberflächen oder störende Luftströmungen im Raum auszugleichen.

27.4.3 Ursachen für Störungen bei der Thermografie

Das Risiko, durch Mängel in der Wärmedämmung verursachte Temperaturabweichungen bei Thermografieuntersuchungen mit der natürlichen Abweichung der U-Werte an warmen Oberflächen eines Gebäudes zu verwechseln, wird unter normalen Bedingungen als geringfügig eingestuft.

Die mit Abweichungen des U-Wertes verbundenen Temperaturänderungen verlaufen im Allgemeinen graduell und sind symmetrisch über die Oberfläche verteilt. Abweichungen dieser Art treten bekanntermaßen an den Übergängen zwischen Wänden und Dächern und Fußböden sowie in Ecken auf.

Mit Lufteinbrüchen oder Mängeln an der Wärmedämmung verbundene Temperaturänderungen sind meistens auffälliger und weisen charakteristische, scharfe Konturen auf. Das Temperaturmuster ist normalerweise asymmetrisch.

Während der Thermografieuntersuchung und beim Auswerten eines Infrarotbildes können Vergleichsbilder sehr hilfreich sein.

In der Thermografie-Praxis treten folgende Störungsquellen am häufigsten auf:

- Sonneneinstrahlung auf die untersuchte Oberfläche (Sonne, die durch ein Fenster scheint)
- Warme Heizkörper und Heizungsrohre
- Auf die untersuchte Oberfläche gerichtete oder in ihrer Nähe aufgestellte Lichtquellen
- Auf die Oberfläche gerichtete Luftströmungen (z. B. aus Lufteinlässen)
- Feuchtigkeitsansammlungen auf der Oberfläche

Oberflächen, die der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, sollten keiner Thermografieuntersuchung unterzogen werden. Besteht das Risiko, dass sich die Sonneneinstrahlung auf das Ergebnis auswirkt, muss ein Sonnenschutz eingesetzt werden (z. B. Jalousien). Beachten Sie jedoch, dass bestimmte Gebäudemängel oder Probleme (besonders Probleme durch Feuchtigkeit) unter Umständen erst zu erkennen sind, wenn die Oberfläche erwärmt wurde, beispielsweise durch Sonneneinstrahlung.

Weitere Informationen zum Nachweis von Feuchtigkeit finden Sie in Abschnitt 27.3.2 – Informationen zum Feuchtigkeitsnachweis auf Seite 88.

Ein warmer Heizkörper wird auf einem Infrarotbild als helle Fläche dargestellt. Die Oberflächentemperatur von Wänden erhöht sich in der Nähe von Heizkörpern, wodurch eventuell vorhandene Mängel überdeckt werden können.

Um störende Auswirkungen durch warme Heizköper so weit wie möglich zu verhindern, sollten diese einige Zeit vor der Durchführung der Messung ausgeschaltet werden. Je nach Bauweise des Gebäudes (geringe oder große Masse) müssen die Heizkörper möglicherweise mehrere Stunden vor einer Thermografieuntersuchung ausgeschaltet werden. Die Raumtemperatur darf jedoch nicht so stark abfallen, dass die Verteilung der Oberflächentemperatur auf den Oberflächen des Gebäudes beeinflusst wird. Bei elektrischen Heizkörpern ist die Zeitverzögerung nur gering, d. h. sie kühlen nach dem Abschalten relativ schnell ab (20 – 30 Minuten).

An Wänden montierte Lampen müssen ausgeschaltet werden, bevor das Infrarotbild aufgenommen wird.

Während der Thermografieuntersuchung dürfen keine störenden Luftströmungen vorhanden sein (z. B. durch offene Fenster, geöffnete Ventile oder Ventilatoren, die auf die zu untersuchende Fläche gerichtet sind), die die zu untersuchenden Flächen beeinflussen könnten.

Feuchte Oberflächen, beispielsweise durch Oberflächenkondensation, beeinflussen in jedem Fall den Wärmetransport auf der Oberfläche und die Oberflächentemperatur. Ist eine Oberfläche feucht, wird normalerweise durch Verdunstung Wärme abgegeben und somit die Oberflächentemperatur um einige Grad reduziert. Bei größeren Wärmebrücken und Wärmedämmungsmängeln besteht das Risiko einer Oberflächenkondensation.

Die hier beschriebenen Störungsquellen können normalerweise vor der Messung ermittelt und beseitigt werden.

Ist es nicht möglich, Störfaktoren für die zu untersuchenden Oberflächen während der Thermografie zu beseitigen, muss dies bei der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt werden. Bei der Messung müssen die Bedingungen, unter denen die Thermografie durchgeführt wird, genau dokumentiert werden.

27.4.4 Oberflächentemperatur und Lufteinbrüche

Mängel bei der Luftdichtigkeit eines Gebäudes auf Grund kleiner Risse in der Struktur können durch Messen der Oberflächentemperatur ermittelt werden. Herrscht in dem zu untersuchenden Gebäude ein Unterdruck, strömt durch undichte Stellen im Gebäude Luft ein. Kaltluft, die durch kleine Risse in einer Wand einströmt, führt für gewöhnlich zu einem Absinken der Temperatur angrenzender Wandflächen. Auf der Oberfläche der Wandinnenseite entsteht dadurch ein kalter Bereich mit einer charakteristischen Form. Mit Hilfe der Thermografie können solche kalten Oberflächenbereiche nachgewiesen werden. Luftströmungen an der Wandoberfläche können mit Hilfe

einer Luftgeschwindigkeitsanzeige gemessen werden. Herrscht in dem zu untersuchenden Gebäude ein Überdruck, strömt warme Raumluft durch Risse in der Wand aus. Auf diese Weise werden die Oberflächen im Bereich der Risse erwärmt.

Die Stärke des austretenden Luftstroms hängt einerseits von den Rissen und andererseits vom Druckgefälle innerhalb des Gebäudes ab.

27.4.4.1 Druckverhältnisse in Gebäuden

Die folgenden Faktoren stellen die wichtigsten Ursachen für ein Druckgefälle in einem Strukturelement eines Gebäudes dar:

- Windverhältnisse in der Umgebung des Gebäudes
- Lüftungssysteme
- Temperaturunterschiede zwischen der Außenumgebung und dem Gebäudeinneren (wärmebedingtes Druckgefälle)

Die tatsächlichen Druckverhältnisse im Inneren eines Gebäudes ergeben sich in der Regel aus dem Zusammenspiel dieser drei Faktoren.

Das entstehende Druckgefälle zwischen den verschiedenen Strukturelementen wird in der Abbildung auf Seite 115 veranschaulicht. Da die Auswirkungen des Windes auf ein Gebäude nicht gleichmäßig sind, sind die Druckverhältnisse in der Praxis relativ variabel und kompliziert.

Bei gleichmäßigen Windverhältnissen gilt das Gesetz von Bernoulli:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = \text{constant}$$

Es gilt:

ρ	Luftdichte in kg/m^3
v	Windgeschwindigkeit in m/s
p	Statischer Druck in Pa

Weiterhin gilt:

$$\frac{\rho v^2}{2}$$

steht für den dynamischen Druck und p für den statischen Druck. Die Summe dieser Druckwerte ergibt den Gesamtdruck.

Auf Grund der Windlast an einer Oberfläche wandelt sich der dynamische Druck in einen statischen Druck gegen die Oberfläche. Die Stärke dieses dynamischen Drucks wird unter anderem anhand der Form der Oberfläche und ihres Winkels zur Windrichtung bestimmt.

Der Anteil des dynamischen Drucks, der sich in einen statischen Druck auf die Oberfläche umwandelt (p_{stat}), wird vom so genannten Spannungskonzentrationsfaktor bestimmt:

$$C = \frac{p_{stat}}{\frac{\rho v^2}{2}}$$

Wenn ρ = 1,23 kg/m³ (Luftdichte bei einer Temperatur von +15 °C) ergibt sich für den lokalen Druck in der Windströmung Folgendes:

$$p_{stat} = C \times \frac{\rho v^2}{2} = C \times \frac{v^2}{1.63} \text{ Pa}$$

10551803;a1

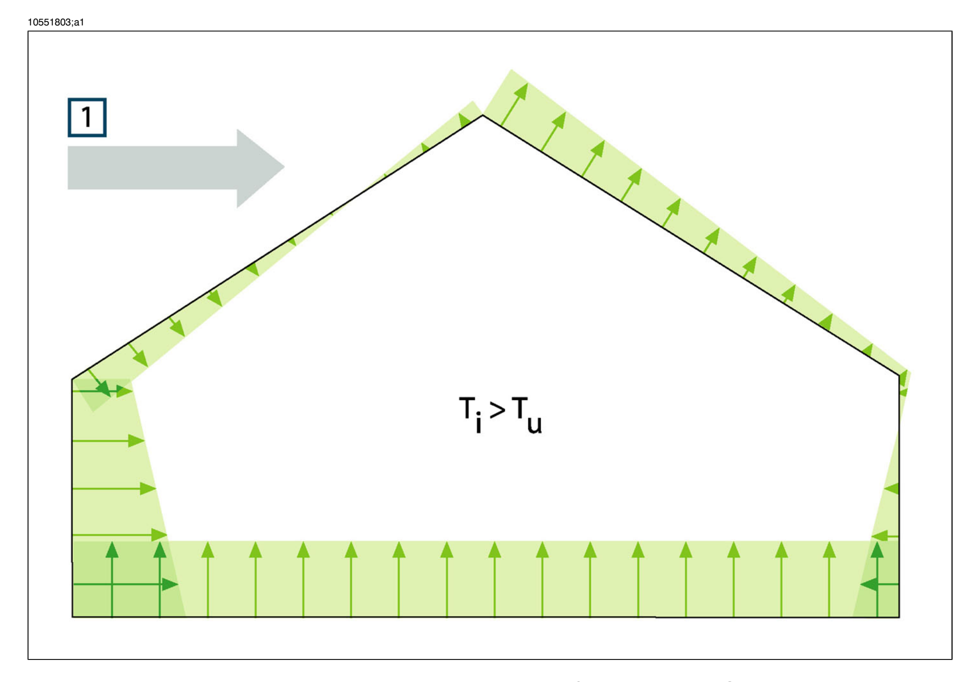


Abbildung 27.3 Verteilung der resultierenden Drücke auf die Außenflächen eines Gebäudes in Abhängigkeit von den Auswirkungen des Windes, der Durchlüftung und der Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur. **1**: Windrichtung; T_u: Thermodynamische Außenlufttemperatur in K T_i: Thermodynamische Innenlufttemperatur in K.

Wenn sich der gesamte dynamische Druck in statischen Druck umwandelt, ist C = 1. Beispiele für die Verteilung des Spannungskonzentrationsfaktors für ein Gebäude bei verschiedenen Windrichtungen finden Sie in der Abbildung auf Seite 116.

Durch den Wind entsteht also im Inneren auf der dem Wind zugewandten Seite ein Unterdruck und auf der dem Wind abgewandten Seite ein Überdruck. Der Luftdruck im Inneren hängt von den Windverhältnissen, Lufteinbrüchen im Gebäude und von deren Verteilung im Verhältnis zur Windrichtung ab. Sind die Lufteinbrüche gleichmäßig über das Gebäude verteilt, kann der Druck im Inneren um ±0.2 p_{stat} variieren. Befinden sich die meisten Lufteinbrüche auf der windzugewandten Seite, erhöht sich der Druck im Inneren leicht. Befinden sich dagegen die meisten Lufteinbrüche auf der windabgewandten Seite, sinkt der Druck im Inneren.

10551903;a1

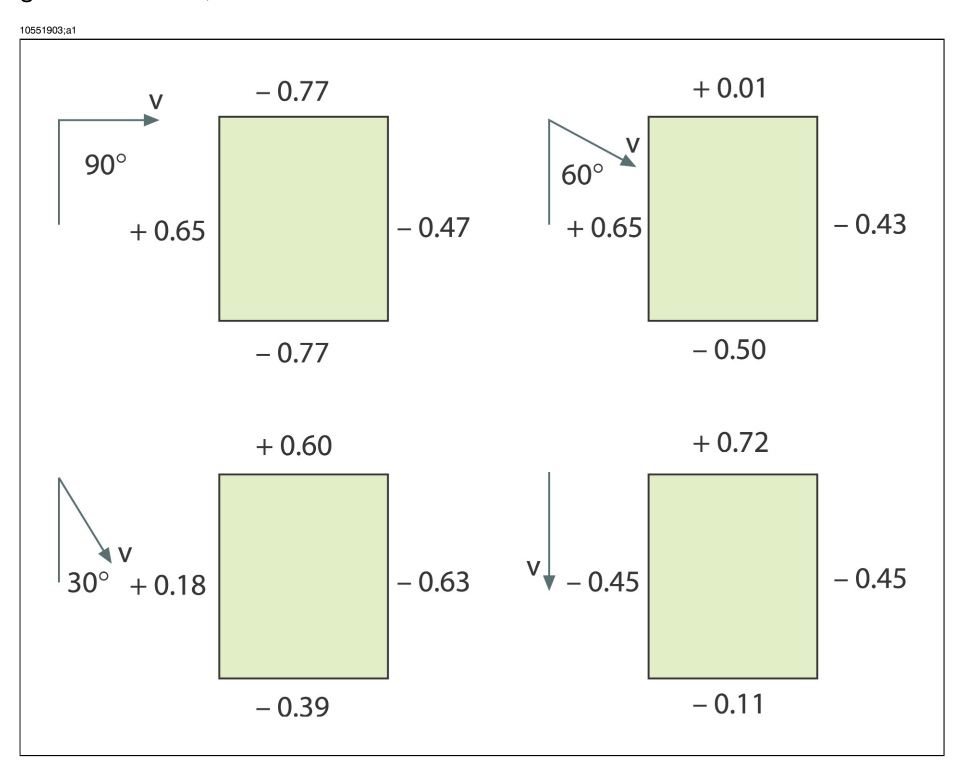


Abbildung 27.4 Verteilung des Spannungskonzentrationsfaktors (C) für verschiedene Windrichtungen und -geschwindigkeiten (v) im Verhältnis zum Gebäude.

Die Windverhältnisse können im zeitlichen Verlauf und zwischen nah beieinander liegenden Standorten erheblich variieren. Bei der Thermografie wirken sich solche Abweichungen eindeutig auf die Messergebnisse aus.

In Experimenten wurde gezeigt, dass der Differenzdruck an einer Fassade, die einer durchschnittlichen Windstärke von ca. 5 m/s (16,3 ft/s) ausgesetzt wird, etwa 10 Pa beträgt.

Bei einer mechanischen Lüftung entsteht im Inneren ein konstanter Unter- oder Überdruck (je nach Lüftungsrichtung). Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass der durch eine mechanische Entlüftung (Küchenabzugshaube) in kleinen Häusern entstehende Unterdruck normalerweise zwischen 5 und 10 Pa liegt. Sind beispielsweise in großen Mehrfamilienhäusern mechanische Entlüftungsanlagen installiert, ist der Unterdruck etwas größer (zwischen 10 und 50 Pa). Reglergesteuerte Be- und Entlüftungssysteme (mit einer mechanischen Steuerung) sind normalerweise so eingestellt, dass im Inneren ein geringer Unterdruck (zwischen 3 und 5 Pa) entsteht.

Beim so genannten Kamineffekt (Unterschiede in der Luftdichte bei verschiedenen Temperaturen), d. h. bei einem durch Temperaturunterschiede hervorgerufenen Druckgefälle, entsteht im unteren Bereich des Gebäudes ein Unterdruck und im oberen Bereich ein Überdruck. In einer bestimmten Höhe gibt es einen neutralen Bereich, wo der Druck im Gebäudeinneren und im Außenbereich gleich ist (vgl. Abbildung auf Seite 118). Der Differenzdruck ergibt sich aus der folgenden Formel:

$$\Delta p = g \times \rho_u \times h \left(1 - \frac{T_u}{T_i} \right) \text{ Pa}$$

Δp	Druckdifferenz innerhalb des Gebäudes in Pa
g	9,81 m/s^2
ρ_u	Luftdichte in kg/m^3
T_u	Thermodynamische Außenlufttemperatur in K
T_i	Thermodynamische Innenlufttemperatur in K
h	Abstand vom neutralen Bereich in Meter

Wenn ρ_u = 1,29 kg/m^3 (Luftdichte bei einer Temperatur von 273 K und ≈100 kPa), ergibt dies:

$$\Delta p \approx 13 \times h \left(1 - \frac{T_u}{T_i} \right)$$

Bei einer Differenz von +25 °C zwischen den Umgebungstemperaturen im Innen- und Außenbereich ergibt sich innerhalb der Gebäudestruktur ein Druckgefälle von etwa 1 Pa pro Meter Höhenunterschied.

10552003;a1

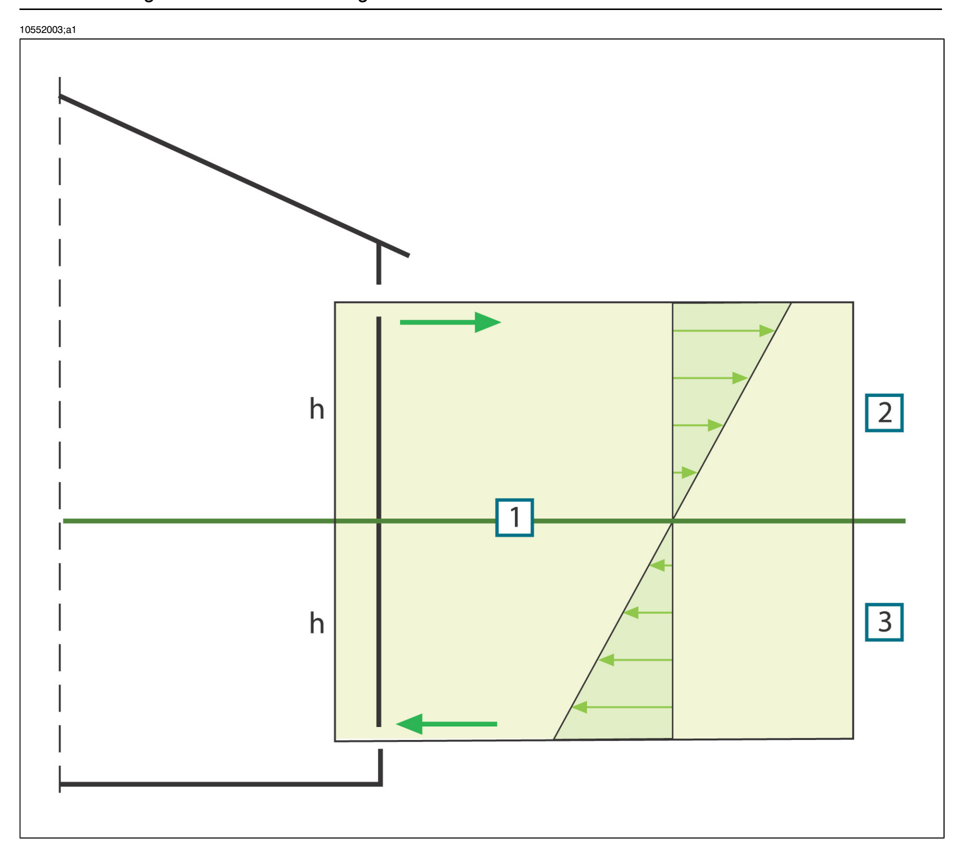


Abbildung 27.5 Druckverteilung in einem Gebäude mit zwei Öffnungen, dessen Innentemperatur höher als die Außentemperatur ist. **1**: Neutraler Bereich; **2**: Überdruck; **3**: Unterdruck; **h**: Abstand vom neutralen Bereich in Meter.

Die Position des neutralen Bereichs kann je nach den im Gebäude vorhandenen Lufteinbrüchen variieren. Sind die Lufteinbrüche gleichmäßig über das Gebäude verteilt, befindet sich der Bereich ungefähr in mittlerer Höhe des Gebäudes. Befinden sich mehr Lufteinbrüche im unteren Gebäudeteil, liegt der neutrale Bereich weiter unten. Befinden sich mehr Lufteinbrüche im oberen Gebäudeteil, liegt der neutrale Bereich weiter oben. Weist das Dach eine Kaminöffnung auf, wirkt sich dies in erheblichem Maße auf die Position des neutralen Bereichs aus und kann einen Unterdruck im gesamten Gebäude bewirken. Dieser Fall tritt am häufigsten bei kleinen Gebäuden ein.

Bei größeren Gebäuden, wie hohen Industriegebäuden, die im unteren Teil Lufteinbrüche an Türen und Fenstern aufweisen, befindet sich der neutrale Bereich bei ungefähr einem Drittel der Gebäudehöhe.

Publ. No. T559651 Rev. a540 – GERMAN (DE) – May 25, 2011

27.4.5 Messbedingungen und Zeitpunkt für Messungen

Die obigen Erläuterungen können hinsichtlich der erforderlichen Messbedingungen bei Thermografieuntersuchungen an Gebäuden folgendermaßen zusammengefasst werden:

Thermografieuntersuchungen werden ausgeführt, wenn störende Einflüsse von externen Klimafaktoren möglichst gering sind. Die Bilder werden daher im Inneren aufgenommen; ist ein Gebäude beispielsweise beheizt, werden seine warmen Oberflächen untersucht.

Im Freien werden nur Thermografieuntersuchungen durchgeführt, um Vergleichsdaten für große Fassaden zu erhalten. In bestimmten Fällen, wenn z. B. die Wärmedämmung sehr schlecht ist oder ein Überdruck im Inneren besteht, sind Außenmessungen unter Umständen sinnvoll. Thermografieaufnahmen an der Außenseite des Gebäudes können auch dann zweckmäßig sein, wenn die Auswirkungen von Installationen in der Klimahülle des Gebäudes untersucht werden sollen.

Folgende Bedingungen sind empfehlenswert:

- Die Differenz der Lufttemperatur im relevanten Gebäudeteil muss bereits einige Stunden vor sowie während der Thermografieuntersuchung mindestens +10 °C betragen. Im selben Zeitraum darf die Differenz der Umgebungstemperatur nicht um mehr als ±30 % der Differenz zum Zeitpunkt des Messbeginns schwanken. Während der Thermografieuntersuchung darf die Umgebungstemperatur im Inneren nicht um mehr als ±2 °C variieren.
- Einige Stunden vor und während der Thermografieuntersuchung darf der relevante Gebäudeteil keiner Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein.
- Der Unterdruck im Gebäude sollte ≈ 10 – 50 Pa betragen.
- Sollen anhand einer Thermografieuntersuchung lediglich Lufteinbrüche in den äußeren Bauelementen des Gebäudes ermittelt werden, gelten unter Umständen weniger strenge Anforderungen an die Messbedingungen. Eine Differenz von 5 °C zwischen der Umgebungstemperatur im Inneren und im Außenbereich sollte für den Nachweis solcher Mängel ausreichen. Damit Lufteinbrüche nachgewiesen werden können, müssen jedoch bestimmte Voraussetzungen hinsichtlich des Druckgefälles erfüllt sein. 10 Pa sollten ausreichen.

27.4.6 Auswertung von Infrarotbildern

Der Hauptzweck der Thermografie ist der Nachweis von Fehlern und Mängeln an der Wärmedämmung in Außenwänden und Böden sowie die Bestimmung ihrer Art und ihres Ausmaßes. Mit Hilfe der Thermografie soll also ermittelt werden, ob die untersuchte Wand die zugesicherten Eigenschaften in Bezug auf Wärmedämmung und Luftdichtigkeit erfüllt. Anhand der im Entwurf zugesicherten Eigenschaften in Bezug

auf die Wärmedämmung der Wand kann eine Verteilung der Oberflächentemperatur der untersuchten Oberfläche prognostiziert werden, sofern die Messbedingungen zum Zeitpunkt der Untersuchung bekannt sind.

In der Praxis wird bei dieser Methode folgendermaßen vorgegangen:

Mit Hilfe von Labortests oder Tests vor Ort erfolgt eine Prognose der Temperaturverteilung in Form von typischen Infrarotbildern bzw. Vergleichsbildern für gängige Wandstrukturen. Dabei werden sowohl einwandfreie als auch mangelhafte Strukturen berücksichtigt.

Beispiele für typische Infrarotbilder finden Sie in Abschnitt 27.3 – Typische Einsatzszenarien auf Seite 86.

Sollen Infrarotbilder von strukturellen Bereichen, die bei Messungen vor Ort aufgenommen wurden, als Vergleichsbilder herangezogen werden, müssen der Aufbau der Struktur, die Bauweise und die Messbedingungen zum Zeitpunkt der Aufnahme des Infrarotbildes im Detail bekannt und dokumentiert sein.

Damit bei der Thermografie Aussagen bezüglich der Ursachen für Abweichungen von prognostizierten Ergebnissen getroffen werden können, müssen die physikalischen, messtechnischen und bautechnischen Voraussetzungen bekannt sein.

Die Auswertung von bei Messungen vor Ort aufgenommenen Infrarotbildern kann folgendermaßen zusammengefasst werden:

Ein Vergleichsinfrarotbild für eine einwandfreie Gebäudestruktur wird auf der Grundlage der zu untersuchenden Wandstruktur und der Bedingungen, unter denen die Messung vor Ort durchgeführt wurde, ausgewählt. Anschließend wird ein Infrarotbild des zu untersuchenden Bauelements mit dem ausgewählten Infrarotbild verglichen. Bei allen Abweichungen, die nicht auf die Bauweise des Gebäudes oder die Messbedingungen zurückzuführen sind, besteht der Verdacht eines Wärmedämmungsmangels. Art und Ausmaß des Mangels werden normalerweise mit Hilfe von Vergleichsbildern ermittelt, die verschiedene Mängel darstellen.

Liegt kein geeignetes Vergleichsinfrarotbild vor, erfolgen Aus- und Bewertung auf der Grundlage von Erfahrungswerten. In diesem Fall ist größte Sorgfalt bei der Analyse erforderlich.

Bei der Auswertung eines Infrarotbildes sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Gleichmäßigkeit der Helligkeit bei Infrarotbildern von Oberflächenbereichen ohne Wärmebrücken
- Regelmäßigkeit und Auftreten von kalten Oberflächenbereichen, z. B. an Sparren und Ecken
- Konturen und typische Formen der kalten Oberflächenbereiche

- Gemessene Temperaturunterschiede zwischen der normalen Oberflächentemperatur des Gebäudes und den ausgewählten kalten Oberflächenbereichen
- Kontinuität und Gleichförmigkeit der Isothermenkurve auf der Oberfläche der Gebäudestruktur. In der Kamerasoftware wird die Isothermenfunktion je nach Kameramodell **Isotherme** oder **Farbalarm** genannt.

Abweichungen und Unregelmäßigkeiten im Infrarotbild deuten häufig auf Wärmedämmungsmängel hin. In Infrarotbildern von Gebäudestrukturen mit Wärmedämmungsmängeln sind unter Umständen natürlich beträchtliche Abweichungen zu erkennen. Bestimmte Arten von Wärmedämmungsmängeln weisen auf Infrarotbildern eine charakteristische Form auf.

In Abschnitt 27.3 – Typische Einsatzszenarien auf Seite 86 finden Sie Beispiele zur Auswertung von Infrarotbildern.

Wenn Infrarotbilder eines einzigen Gebäudes aufgenommen werden, sollten Aufnahmen verschiedener Bereiche mit denselben Einstellungen an der Infrarotkamera durchgeführt werden. Dies erleichtert den Vergleich der verschiedenen Oberflächenbereiche.

27.4.7 Feuchtigkeit und Taupunkt

27.4.7.1 Relative und absolute Feuchtigkeit

Die Feuchtigkeit kann auf zwei Arten angegeben werden: entweder als *relative Feuchtigkeit* oder als *absolute Feuchtigkeit*. Die relative Feuchtigkeit gibt an, wie viel Prozent der maximalen Wassermenge bei einer bestimmten Temperatur in der Luft enthalten sind. Die absolute Feuchtigkeit gibt an, wie viel Prozent Wasser eine bestimmte Menge von Material tatsächlich enthält. Die zweite Möglichkeit zur Angabe der Feuchtigkeit wird häufig beim Messen der Feuchtigkeit in Holz und anderen Baustoffen verwendet.

Je höher die Lufttemperatur ist, desto größer ist auch die Menge an Feuchtigkeit, die die Luft aufnehmen kann.

27.4.7.2 Definition des Taupunkts

Unter dem Taupunkt versteht man die Temperatur, bei der die Feuchtigkeit in einem bestimmten Luftvolumen zu flüssigem Wasser kondensiert.

27.4.8 Auszug aus technischem Hinweis ‘Bewertung von Wärmebrücken und durchgehender Wärmedämmung’ (Beispiel für Großbritannien)

27.4.8.1 Impressum

Die vorliegenden technischen Hinweise (Technical Note, abgekürzt TN) wurden von einer Arbeitsgruppe erstellt, die sich aus Termografiefachleuten und Forschungsberatern zusammensetzt. Da bei der Erstellung weitere Personen und Organisationen zu Rate gezogen wurden, findet dieses Dokument breite Zustimmung in allen Industriebereichen.

Der Inhalt dieser technischen Hinweise wird mit freundlicher Genehmigung der United Kingdom Thermography Association (UKTA) wiedergegeben und ist vollständig urheberrechtlich geschützt.

UK Thermography Association
c/o British Institute of Nondestructive Testing
1 Spencer Parade
Northampton NN1 5AA
United Kingdom

Tel:: +44 (0)1604 630124
Fax: +44 (0)1604 231489

27.4.8.2 Einleitung

In den letzten Jahren war auf dem Gebiet der Thermografie im Hinblick auf Geräte, Anwendungen, Software und Bekanntheitsgrad eine rasante Entwicklung zu verzeichnen. Die Thermografietechnik wurde mehr und mehr in gängige Verfahren integriert, wodurch ein entsprechender Bedarf an Anwendungshandbüchern, Normen und Thermografieschulungen entstanden ist.

Die UKTA hat diese technischen Hinweise erstellt, um bei der Quantifizierung der Ergebnisse einer Überprüfung der ‘Kontinuität der Wärmedämmung’ eine konsistente Vorgehensweise zu etablieren. Das Dokument soll Erstellern von Spezifikationen als Leitfaden für die Einhaltung der Bauvorschriften dienen, so dass ein qualifizierter Thermograph die Überprüfung als bestanden oder nicht bestanden einstufen kann.

27.4.8.3 Hintergrundinformationen

Mit Hilfe der Thermografie können selbst geringe Abweichungen in der Oberflächentemperatur von nur 0,1 K erkannt werden. Des Weiteren können Grafiken erstellt werden, die die Temperaturverteilung auf Gebäudeoberflächen illustrieren.

Durch Abweichungen bei den thermischen Eigenschaften von Gebäudestrukturen, beispielsweise durch eine fehlerhaft angebrachte Wärmedämmung oder Bereiche mit gänzlich fehlender Wärmedämmung, entstehen unterschiedliche Oberflächentem-

peraturen auf beiden Seiten der Gebäudestruktur, die von einem Thermografen erkannt werden können. Darüber hinaus gibt es jedoch noch andere Faktoren, die zu Abweichungen bei der Oberflächentemperatur führen können, beispielsweise lokale Wärmequellen, Reflexionen und Lufteinbrüche.

In der Regel ist nur ein qualifizierter Thermograf in der Lage, tatsächliche Schwachstellen von anderen Ursachen für Temperaturabweichungen zu unterscheiden. Thermografen werden immer häufiger dazu aufgefordert, ihre Bewertung einer Gebäudestruktur zu belegen. Ohne entsprechende Leitlinien kann sich die Festlegung von Grenzwerten für akzeptable und nicht akzeptable Temperaturabweichungen als schwierig erweisen.

Die derzeit gültige Norm in Großbritannien für Wärmebilder von Gebäuden ist BS EN 13187:1999 (BS EN 13187:1999, Thermal Performance of Buildings—Qualitative detection of thermal properties in building envelopes—Infrared method (ISO 6781:1983 modified) (Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Qualitativer Nachweis von Wärmebrücken in Gebäudehüllen - Infrarot-Verfahren)). In dieser Norm wird die Interpretation der Wärmebilder jedoch erfahrenen Thermografen überlassen, und sie enthält wenig Informationen zur Abgrenzung zwischen akzeptablen und inakzeptablen Abweichungen. Informationen zu verschiedenen thermischen Auffälligkeiten finden Sie in den BINDT Guides to thermal imaging (Infrared Thermography Handbook; Volume 1, Principles and Practise, Norman Walker, ISBN 0903132338, Volume 2, Applications, A. N. Nowicki, ISBN 090313232X, BINDT, 2005).

27.4.8.3.1 Anforderungen

Eine Thermografieuntersuchung zur Feststellung der Kontinuität der Wärmedämmung, von Bereichen mit Wärmebrücken sowie der Erfüllung der Bauvorschriften muss folgende Punkte berücksichtigen:

- Thermische Auffälligkeiten
- Unterscheidung zwischen tatsächlichen thermischen Auffälligkeiten, bei denen die Temperaturunterschiede auf Wärmedämmungsmängel zurückzuführen sind und solchen, die eine falsche Interpretation von Faktoren wie örtlich begrenzte Unterschiede durch Luftströmungen, Reflexionen und Emissionsgraden darstellen.
- Quantifizierung der betroffenen Bereiche im Verhältnis zu den Bereichen mit vollständiger Wärmedämmung
- Angabe, ob die Auffälligkeiten und die Wärmedämmung des Gebäudes insgesamt akzeptabel sind

27.4.8.4 Quantitative Bewertung thermischer Auffälligkeiten

Bei einer Thermografieuntersuchung treten Unterschiede in Bezug auf die scheinbare Temperatur von Bereichen innerhalb des Sichtfeldes zu Tage. Damit die Untersuchung zweckdienlich ist, müssen alle scheinbaren Mängel systematisch erfasst werden.

Diese müssen dann mit Hilfe vorab festgelegter Kriterien ausgewertet werden, wobei diejenigen Auffälligkeiten, die keine tatsächlichen Mängel darstellen, zuverlässig ausgeschlossen werden müssen. Die tatsächlichen Mängel müssen bewertet und das Ergebnis dem Kunden mitgeteilt werden.

27.4.8.4.1 Auswahl kritischer Temperaturparameter

Die Informationsschrift IP17/01 von BRE (Information Paper IP17/01, Assessing the Effects of Thermal Bridging at Junctions and Around Openings. Tim Ward, BRE, 2001) enthält nützliche Hinweise zu akzeptablen Mindestwerten für Oberflächentemperaturen im Innenbereich sowie für entsprechende Werte für den Faktor der kritischen Oberflächentemperatur (f_{CRsi}). Durch die Verwendungen eines Oberflächentemperaturfaktors sind unter jeglichen thermischen Bedingungen Untersuchungen möglich, mit deren Hilfe Bereiche mit Kondensations- oder Schimmelbildungsrisiko in der Bauphase ermittelt werden können.

Die tatsächliche Oberflächentemperatur ist abhängig von den Innen- und Außentemperaturen zum Zeitpunkt der Untersuchung. Es wurde jedoch ein Oberflächentemperaturfaktor (f_{Rsi}) entwickelt, der von den absoluten Bedingungen unabhängig ist. Dieser Faktor stellt das Verhältnis des Temperaturabfalls innerhalb der Gebäudestruktur zum Gesamttemperaturabfall zwischen Innen- und Außenluft dar.

Für Untersuchungen im Innenbereich: $f_{Rsi} = (T_{si} - T_e)/(T_i - T_e)$

T_{si} = Oberflächentemperatur im Innenbereich
T_i = Lufttemperatur im Innenbereich
T_e = Lufttemperatur im Außenbereich

Ein f_{CRsi}-Wert von 0,75 gilt für Neubauten als geeignet, da bei der Überprüfung der ‘Durchgängigkeit der Wärmedämmung’ bzw. von ‘Wärmebrücken’ die intensive Nutzung nicht als Faktor berücksichtigt wird. Bei der Untersuchung von Umbauten oder Erweiterungsbauten, z. B. beim Bau von Schwimmbecken, müssen bei Untersuchungen im Innenbereich jedoch ungewöhnliche Begleitumstände berücksichtigt werden.

27.4.8.4.2 Alternative Methode mit ausschließlicher Verwendung von Oberflächentemperaturen

Viele Gründe sprechen dafür, Thermografieuntersuchungen allein auf der Grundlage von Oberflächentemperaturen durchzuführen und keine Messung der Lufttemperatur vorzunehmen.

- Die innerhalb von Gebäuden auftretende Stratifizierung macht eine Einbeziehung der Lufttemperaturen im Innenbereich äußerst schwierig. Es muss entschieden werden, ob die durchschnittliche Lufttemperatur, die Niedrigst- oder Höchsttemperatur oder die Temperatur des auffälligen Bereiches zugrunde gelegt werden soll und in welchem Abstand zur Wand sie gemessen werden soll.

- Die Einbeziehung der Außentemperatur wird durch Strahlungseffekte wie beispielsweise die Strahlung zum Nachthimmel erschwert. Es ist nicht ungewöhnlich, dass die Temperatur der Außenfläche einer Gebäudestruktur unter der Lufttemperatur liegt, da die Abstrahlung zum Himmel nur –50 °C betragen kann. Dies ist mit bloßem Auge zu erkennen, da Tau und Frost häufig auch dann auf Gebäudeoberflächen auftreten, wenn die Lufttemperatur nicht unter den Taupunkt fällt.
- Es sei darauf hingewiesen, dass den U-Werten Umgebungstemperaturen auf beiden Seiten der Gebäudestruktur zugrunde liegen. Dies wird von vielen unerfahrenen Thermografen nicht berücksichtigt.
- Bei den beiden Temperaturen, die einen starken Bezug zum Wärmetransport durch Gebäudestrukturen (und jegliche Feststoffe) haben, handelt es sich um die Oberflächentemperaturen der beiden Seiten.
- Bei Einbeziehung der Oberflächentemperaturen kann die Untersuchung besser wiederholt werden.
- Als Oberflächentemperaturen werden die Durchschnittswerte der Oberflächentemperaturen desselben Materials in der Nähe der Auffälligkeit verwendet, die an der Innen- und Außenseite der Struktur gemessen wurden. In Verbindung mit dem Temperaturwert des auffälligen Bereichs kann in Abhängigkeit von diesen Temperaturen und unter Verwendung des Faktors der kritischen Oberflächentemperatur ein Schwellenwert festgelegt werden.
- Dessen ungeachtet muss der Thermograf weiterhin auf Reflexionen von Objekten mit ungewöhnlichen Temperaturen im Hintergrund achten, die den Oberflächen der Gebäudestruktur gegenüberliegen.
- Des Weiteren sollte der Thermograf einen Vergleich zwischen den Außenflächen mit unterschiedlicher Ausrichtung anstellen, um festzustellen, ob auf den externen Oberflächen eine Restwärme auf Grund von Sonneneinstrahlung vorhanden ist.
- Bei Oberflächen, deren $T_{si} - T_{so}$-Wert den $T_{si} - T_{so}$-Wert auf der Nordseite oder der dem Norden am ehesten zugewandten Seite um mehr als 10 % übersteigt, sollten keine Untersuchungen im Außenbereich durchgeführt werden.
- Für Mängel, bei denen der Faktorwert 0,75 gemäß IP17/01 zu einem Nichtbestehen der Untersuchung führen würde, wird für Oberflächen auf der Innenseite für die kritische Oberflächentemperatur der Faktor 0,78 und für Oberflächen auf der Außenseite der Faktor 0,93 verwendet.

Die nachfolgende Tabelle enthält die Oberflächentemperaturen auf der Innen- und Außenseite für einen auffälligen Bereich, die gemäß IP17/01 ein Nichtbestehen zur Folge haben. Weiterhin wird angegeben, welche Mängel in der Wärmedämmung hierfür verantwortlich sind.

Beispiel für Blechfassadenverkleidung mit fehlerhafter Wärmedämmung	**Intakter Bereich**	**Mängelbereich**
Außentemperatur in °C	0	0

Beispiel für Blechfassadenverkleidung mit fehlerhafter Wärmedämmung	**Intakter Bereich**	**Mängelbereich**
Oberflächentemperatur der Innenseite in °C	19,1	15,0
Oberflächentemperatur der Außenseite in °C	0.3	1.5
Oberflächenfaktor gemäß IP17/01	0,95	0,75
Faktor für kritische Oberflächentemperatur im Außenbereich gemäß IP17/01		0,92
Dicke der Wärmedämmung (in mm), die das jeweilige Ergebnis liefert	80	5,1
Lokaler U-Wert in W/m²K	0,35	1,92
Oberflächenfaktor gemäß TN1 der UKTA		0,78
Oberflächenfaktor (außen) gemäß TN1 der UKTA		0,93

Anmerkungen zur Tabelle

1 Werte für Oberflächenwiderstände gemäß ADL2 2001:

- Oberfläche innen 0,13 m²K/W
- Oberfläche außen 0,04 m²K/W

Diese Angaben stammen aus der Norm BS EN ISO 6946 (BN EN ISO 6946:1997 Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method (Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren)).

2 Für die hier verwendete Wärmedämmung wird eine Wärmeleitfähigkeit von 0,03 W/m K angenommen.

3 Der Temperaturunterschied zwischen intakten und mangelhaften Bereichen liegt im Außenbereich bei 1,2 Grad und im Innenbereich bei 4,1 Grad.

4 Der Oberflächentemperaturfaktor für Untersuchungen im Innenbereich lautet gemäß TN1 der UKTA:
$F_{si} = (T_{sia} – T_{so})/(T_{si} – T_{so})$
Es gilt:
T_{sia} = Oberflächentemperatur im Innenbereich (Mängelbereich)
T_{so} = Oberflächentemperatur im Außenbereich (intakter Bereich)
T_{si} = Oberflächentemperatur im Innenbereich (intakter Bereich)

5 Der Oberflächentemperaturfaktor für Untersuchungen im Außenbereich lautet gemäß TN1 der UKTA:
$F_{so} = (T_{soa} – T_{si})/(T_{so} – T_{si})$
Es gilt: T_{soa} = Oberflächentemperatur im Außenbereich (Mängelbereich)

27.4.8.4.3 Auswählen des maximal akzeptablen Mängelbereichs

Der zulässige Mängelbereich ist für die Qualitätskontrolle problematisch. Man könnte argumentieren, dass es keinen Bereich mit Kondensation, Schimmelwachstum oder mangelhafter Wärmedämmung geben darf und dass solche Auffälligkeiten im Untersuchungsbericht angegeben werden müssen. Im Allgemeinen wird jedoch ein Wert von 0,1 % der betroffenen Gebäudeoberfläche als maximal zulässiger Mängelbereich in Bezug auf die Bauvorschriften akzeptiert. Dies ist ein Tausendstel Quadratmeter.

27.4.8.4.4 Messen der Oberflächentemperatur

Zur Messung der Oberflächentemperatur wird das Infrarotbildsystem eingesetzt. Ein geschulter Thermograf erkennt, dokumentiert und meldet Abweichungen von Emissionsgrad und Reflexion bei den untersuchten Oberflächen.

27.4.8.4.5 Messen des Mängelbereichs

Die Messung des Mängelbereichs kann durch Zählen der Pixel in der Infrarotanalyse-Software oder vieler Tabellenkalkulationspakete erfolgen. Hierfür gelten folgende Voraussetzungen:

- Der Abstand zwischen Kamera und Objekt muss (in der Regel mit einem Lasermessgerät) exakt gemessen werden.
- Beim Abstand zum Ziel muss das IFOV (momentanes Sichtfeld) des Wärmebildsystems berücksichtigt werden.
- Jegliche Änderung des Kamerawinkels in senkrechter Richtung in Bezug auf die Oberfläche des Messobjekts muss berücksichtigt werden.

Gebäude setzen sich aus zahlreichen Komponenten zusammen, die quantitative Untersuchungen erschweren. Hierzu zählen Fenster, Deckenleuchten, Leuchtkörper, Wärmequellen, Kühlsysteme, Hausanschlüsse und elektrische Leitungen. Die Beziehungen zwischen diesen Objekten und der Gebäudehülle sind jedoch als Teil der Untersuchung zu betrachten.

27.4.8.5 Bedingungen und Ausrüstung

Um bei einer Untersuchung der Wärmedämmung optimale Ergebnisse zu erzielen, müssen die Umgebungsbedingungen berücksichtigt und geeignete Thermografiemethoden eingesetzt werden.

Thermische Auffälligkeiten zeigen sich dem Thermografen nur dort, wo Temperaturunterschiede vorhanden sind und Umgebungsbedingungen berücksichtigt werden. Folgende grundlegende Bedingungen sollten mindestens erfüllt werden:

- Temperaturunterschiede in der Gebäudestruktur sind größer als 10 °C.
- Unterschied zwischen der Lufttemperatur im Innenbereich und Lufttemperatur der Umgebung war in den letzten 24 Stunden vor der Untersuchung größer als 5 °F.

- Lufttemperatur im Außenbereich lag für die Dauer der Untersuchung und eine Stunde davor bei ±3 °C.
- Lufttemperatur im Außenbereich lag für die vorangegangenen 24 Stunden bei ±10 °C.

Darüber hinaus müssen bei Untersuchungen im Außenbereich folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Die zu untersuchenden Oberflächen sollten weder direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein noch darf eine Restwärme vorhanden sein. Dies können Sie überprüfen, indem Sie die Oberflächentemperaturen der gegenüberliegenden Seiten des Gebäudes vergleichen.
- Kurz vor und während der Untersuchung dürfen keine Niederschläge auftreten.
- Alle zu untersuchenden Gebäudeoberflächen müssen trocken sein.
- Die Windgeschwindigkeit muss unter 10 m/s liegen.

Außer der Temperatur müssen bei der Planung von Thermografieuntersuchungen an Gebäuden weitere Umgebungsbedingungen berücksichtigt werden. Untersuchungen im Außenbereich können beispielsweise durch Abstrahlungen oder Reflexionen von benachbarten Gebäuden oder einen kalten wolkenlosen Himmel und mehr noch durch den Oberflächenerwärmungseffekt der Sonne beeinflusst werden.

Wenn sich die Hintergrundtemperaturen von der Lufttemperatur im Innen- oder Außenbereich um mehr als 5 K unterscheiden, müssen die Hintergrundtemperaturen aller betroffenen Oberflächen gemessen werden, um exakte Ergebnisse für die Oberflächentemperatur zu erhalten.

27.4.8.6 Untersuchung und Analyse

Der nachfolgende Abschnitt enthält Anleitungen zur Vorgehensweise für den Thermografen.

Bei der Untersuchung müssen genug thermografische Daten erfasst werden, die belegen, dass alle Oberflächen ordnungsgemäß untersucht und alle thermischen Auffälligkeiten erkannt und bewertet wurden.

Zunächst müssen bei allen thermografischen Untersuchungen u. a. folgende Umgebungsdaten erfasst werden:

- Innentemperatur im auffälligen Bereich
- Außentemperatur im auffälligen Bereich
- Emissionsgrad der Oberfläche
- Hintergrundtemperatur
- Abstand zur Oberfläche

Ermitteln Sie durch Interpolation die zu verwendende Schwellentemperatur.

- Bei Untersuchungen im Innenbereich wird der Schwellenwert für die Oberflächentemperatur (T_{sia}) folgendermaßen berechnet: $T_{sia} = f_{si}(T_{si} - T_{so}) + T_{so}$. Der Thermograf hält Ausschau nach Oberflächentemperaturen, die über diesem Schwellenwert liegen.
- Bei Untersuchungen im Außenbereich wird der Schwellenwert für die Oberflächentemperatur (T_{soa}) folgendermaßen berechnet: $T_{soa} = f_{so}(T_{so} - T_{si}) + T_{si}$. Der Thermograf hält Ausschau nach Oberflächentemperaturen, die über diesem Schwellenwert liegen.

Die bildliche Erfassung von Auffälligkeiten muss so erfolgen, dass eine Analyse problemlos möglich ist:

- Das Bild muss im rechten Winkel zu vorhandenen Wand- oder Dachkomponenten aufgenommen werden.
- Der Betrachtungswinkel ist nahezu rechtwinklig zur aufzunehmenden Oberfläche. Störende Infrarotstrahlung von Lampen, Wärmequellen, elektrischen Leitungen und reflektierenden Elementen wird minimiert.

Die Analysemethode ist abhängig von der verwendeten Analysesoftware, die wichtigsten Phasen sind jedoch überall identisch:

Erfassen Sie jede Auffälligkeit oder Ansammlung von Auffälligkeiten in einem Bild.

- Verwenden Sie eine Analysesoftware, um den auffälligen Bereich innerhalb des Bildes zu erfassen, und achten Sie darauf, dass keine Bauelemente erfasst werden, die ausgeschlossen werden sollen.
- Berechnen Sie für Untersuchungen im Innenbereich den Bereich unterhalb der Schwellentemperatur bzw. für Untersuchungen im Außenbereich den Bereich oberhalb der Schwellentemperatur. Hierbei handelt es sich um den Mängelbereich. Bestimmte Auffälligkeiten, die während der Untersuchung als Mängel gedeutet wurden, sind in dieser Phase möglicherweise nicht als Mängelbereiche zu erkennen.
- Fügen Sie die Mängelbereiche aus allen Bildern ($\sum A_d$) hinzu.
- Berechnen Sie die Gesamtfläche der exponierten Gebäudestruktur. Hierbei handelt es sich um alle Wand- und Dachoberflächen. Bei einem Gebäude mit einfachem Umriss wird dies mit Hilfe der Gesamtlänge, -breite und -höhe berechnet.
  $A_t = (2h(L + w)) + (Lw)$
- Identifizieren Sie den kritischen Mängelbereich A_c. Dieser ist vorläufig als ein Tausendstel bzw. 0,1 % der Gesamtoberfläche festgelegt.
  $A_c = A_t/1000$
- Wenn $\sum A_d < A_c$, kann für das Gebäude insgesamt ausgesagt werden, dass es über eine ‘einigermaßen durchgängige’ Wärmedämmung verfügt.

27.4.8.7 Berichterstellung

Die Berichte müssen ein Ergebnis (Bestanden/Nicht bestanden) beinhalten, die Anforderungen des Kunden erfüllen und mindestens die gemäß BSEN 13187 erforderlichen Informationen enthalten. Damit die Untersuchung nach der Reparatur wiederholt werden kann, sind normalerweise die folgenden Daten erforderlich:

- Hintergründe und Grundlagen der Untersuchung
- Ort, Himmelsrichtung, Datum und Uhrzeit der Untersuchung
- Eine eindeutige Referenz zur Identifizierung
- Name und berufliche Qualifikation des Thermografen
- Gebäudeart
- Wetterbedingungen, Windgeschwindigkeit und -richtung, letzte Niederschläge, Sonnenschein, Bewölkungsgrad
- Umgebungstemperaturen im Innen- und Außenbereich vor und zu Beginn der Untersuchung sowie zum Zeitpunkt jeder Bilderfassung. Auch Lufttemperatur und Strahlungstemperatur müssen aufgezeichnet werden.
- Etwaige Abweichungen von wichtigen Untersuchungsanforderungen
- Verwendete Ausrüstung, Datum der letzten Kalibrierung, bekannte Mängel
- Name, Zugehörigkeit und Qualifikation des Prüfers
- Art, Ausmaß und Lage jedes festgestellten Mängels
- Ergebnisse zusätzlicher Messungen und Untersuchungen
- Die Berichte müssen vom Thermografen mit einem Index versehen und archiviert werden.

27.4.8.7.1 Erwägungen und Einschränkungen

Ob die Untersuchung im Innen- oder Außenbereich durchgeführt wird, ist abhängig von folgenden Bedingungen:

- Zugänglichkeit der Oberfläche. Bei Gebäuden, deren Außen- und Innenoberflächen verdunkelt sind, beispielsweise durch eingezogene Decken, Regale oder an den Wänden gestapelten Materialien, ist eine Untersuchung dieser Art unter Umständen nicht möglich.
- Lage der Wärmedämmung. Am effektivsten sind Untersuchungen, die an der Seite durchgeführt werden, die der Wärmedämmung am nächsten liegt.
- Lage schwergewichtiger Materialien. Untersuchungen, die an der Seite durchgeführt werden, die schwergewichtigen Materialien am nächsten liegt, sind in der Regel weniger effektiv.
- Der Zweck der Untersuchung. Wenn bei der Untersuchung das Risiko von Kondensation und Schimmelwachstum ermittelt werden soll, muss sie im Innenbereich durchgeführt werden.
- Lage von Glas, unlackiertem Metall und anderen Materialien, die stark reflektieren. Untersuchungen an stark reflektierenden Oberflächen sind in der Regel weniger effektiv.

- Bei einem Mängelbereich ist auf der Wandaußenseite auf Grund von Außenluftströmungen meist ein geringerer Temperaturunterschied zu verzeichnen. Eine fehlende oder schadhafte Wärmedämmung in der Nähe der Außenoberfläche kann jedoch von außen meist schneller erkannt werden.

28 Einführung in die thermografische Untersuchung elektrischer Anlagen

28.1 Wichtiger Hinweis

Die Konfiguration Ihrer speziellen Kamera unterstützt möglicherweise nicht alle in diesem Abschnitt beschriebenen Funktionen.

Die Bestimmungen für elektrische Anlagen und Geräte variieren von Land zu Land. Deshalb stimmen die in diesem Abschnitt beschriebenen Verfahren möglicherweise nicht mit den Standardverfahren in Ihrem Land überein. Des Weiteren dürfen Untersuchungen an elektrischen Anlagen in vielen Ländern nur von Fachpersonal durchgeführt werden. Informieren Sie sich stets über die entsprechenden nationalen oder regionalen Bestimmungen.

28.2 Allgemeine Informationen

28.2.1 Einleitung

Heutzutage ist die Thermografie ein gängiges Verfahren zur Untersuchung elektrischer Anlagen. Dies war der erste und ist bis heute der größte Anwendungsbereich der Thermografie. Die Infrarotkamera hat ein beachtliche Entwicklung durchgemacht, so dass heute die achte Generation thermografischer Systeme erhältlich ist. Alles begann 1964, also vor über 40 Jahren. Die Infrarotkamera wird mittlerweile auf der ganzen Welt eingesetzt. Industrieländer sowie Entwicklungsländer haben dieses Verfahren übernommen.

Thermografie in Verbindung mit Schwingungsanalyse wurde in den letzten Jahrzehnten zur meist verwendeten Methode in der Industrie für die Fehlerortung im Rahmen eines vorbeugenden Instandhaltungsprogramms. Der große Vorteil bei diesen Methoden ist, dass die Untersuchung an Anlagen, die in Betrieb sind, durchgeführt werden kann. Normale Arbeitsbedingungen sind für korrekte Messergebnisse sogar Vorraussetzung. Das laufende Herstellungsverfahren wird somit nicht unterbrochen. Thermografische Untersuchungen an elektrischen Anlagen werden hauptsächlich in folgenden drei Bereichen angewendet:

- Energieerzeugung
- Energieübertragung
- Energieverteilung (der Einsatz von Elektroenergie in der Industrie)

Die Tatsache, dass diese Untersuchungen bei normalen Arbeitsbedingungen durchgeführt werden, hat zu einer thermischen Unterteilung dieser Gruppen geführt. Energieerzeuger führen Messungen zu den Zeiten durch, zu denen die Anlagen stark belastet sind. Die Zeiten variieren je nach Land und Klimazone. Die Messzeiträume können auch vom jeweils untersuchten Anlagentyp abhängen, je nachdem, ob es sich um eine hydroelektrische, nukleare, kohlebasierte oder ölbasierte Anlage handelt.

In der Industrie werden (zumindest in nordischen Ländern mit deutlichen jahreszeitlichen Unterschieden) die Untersuchungen im Frühjahr oder im Herbst oder vor längeren Betriebsunterbrechungen durchgeführt. Somit werden die Reparaturen dann vorgenommen, wenn der Betrieb ohnehin unterbrochen wird. Diese Vorgehensweise findet jedoch immer weniger Anwendung, was zu Untersuchungen der Anlagen unter verschiedenen Last- und Betriebsbedingungen führte.

28.2.2 Allgemeine Anlagendaten

Die zu untersuchende Anlage weist ein bestimmtes Temperaturverhalten auf, das dem Thermografen vor der Durchführung der Untersuchung bekannt sein sollte. Im Falle von elektrischen Anlagen ist das physikalische Gesetz, bei dem Schwachstellen auf Grund von erhöhtem Widerstand oder erhöhtem elektrischen Strom ein anderes Temperaturmuster aufweisen, bekannt.

Jedoch sollte nicht vergessen werden, dass in manchen Fällen, beispielsweise bei Solenoiden, eine ‘Überhitzung’ normal ist und nicht auf einen entstehenden Mangel hinweist. In anderen Fällen, wie beispielsweise bei Verbindungen in Elektromotoren, kann die erhöhte Temperatur dadurch entstehen, dass der mängelfreie Teil die gesamte Last übernimmt und deshalb überhitzt.

Ein ähnliches Beispiel finden Sie in Abschnitt 28.5.7 – Überhitzung eines Bereichs auf Grund einer Schwachstelle in einem anderen Bereich auf Seite 149.

Schwachstellen bei elektrischen Anlagen können sowohl überhitzt als auch kühler sein als die normalen ‘gesunden’ Komponenten. Um zu wissen was auf einen zukommt, ist es wichtig, vor der Untersuchung über die Anlage informiert zu sein.

Im Allgemeinen wird ein sogenannter Hotspot (Bereich mit erhöhter Temperatur) jedoch durch eine mögliche schadhafte Stelle verursacht. Die Temperatur und die Belastung der jeweiligen Komponente bei der Untersuchung gibt an, wie ernst die Schwachstelle ist und unter anderen Bedingungen noch werden kann.

Für die richtige Beurteilung im einzelnen Fall sind detaillierte Informationen zum thermischen Verhalten der Komponente notwendig. Die maximal erlaubte Temperatur des Materials und die Funktion der Komponente im System müssen bekannt sein.

Kabelisolierungen verlieren beispielsweise ab einer bestimmten Temperatur ihre isolierenden Eigenschaften und erhöhen somit die Brandgefahr.

In Trennschaltern mit zu hohen Temperaturen können Teile schmelzen und der Trennschalter kann sich nicht mehr öffnen. Somit verliert er seine Funktion.

Je mehr der Benutzer der Infrarotkamera über die zu untersuchende Anlage weiß desto besser wird die Qualität der Untersuchung. Es ist jedoch praktisch unmöglich, dass ein IR-Thermograf über detaillierte Kenntnisse zu allen verschiedenen untersuchbaren Anlagetypen verfügt. Deshalb ist es üblich, dass die für die Anlage verantwortliche Person während der Untersuchung anwesend ist.

28.2.3 Untersuchung

Die Untersuchungsvorbereitung sollte die Auswahl des richtigen Berichttyps beinhalten. Oft ist es notwendig zusätzliche Ausrüstung, wie beispielsweise ein Strommessgerät zum Messen der Stromstärke in den Kreisläufen, in denen die Mängel gefunden wurden, zu verwenden. Ein Anemometer ist notwendig, wenn Sie die Windgeschwindigkeit bei der Untersuchung von Ausrüstung im Freien messen möchten.

Automatische Funktionen helfen dem Benutzer der Infrarotkamera beim Sichtbarmachen der Komponenten eines Infrarotbilds mit dem richtigen Kontrast, um eine Schwachstelle oder einen Hotspot zu erkennen. Es ist fast unmöglich einen Hotspot auf einer erfassten Komponente zu übersehen. Eine Messfunktion zeigt automatisch den heißesten Punkt innerhalb eines Bereichs im Bild an oder die Differenz zwischen der maximalen Temperatur im gewählten Bereich und einer vom Thermografen gewählten Referenz, beispielsweise die Umgebungstemperatur.

10712703;a3

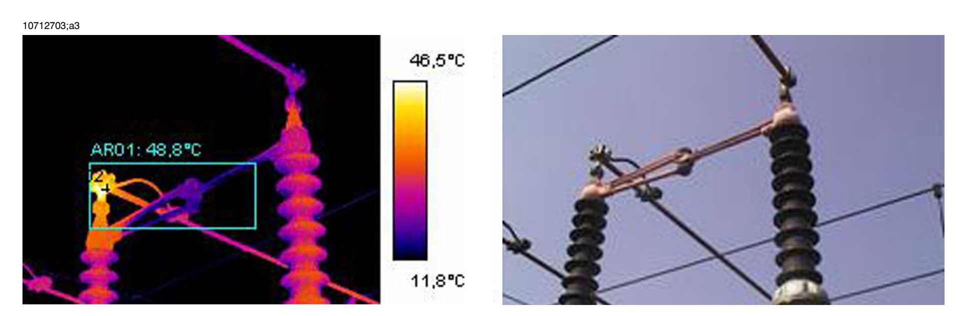


Abbildung 28.1 Infrarot- und Tageslichtaufnahme eines Trennschalters

Wenn die Schwachstelle klar identifiziert wurde und der IR-Thermograf sich vergewissert hat, dass es sich nicht um eine Reflexion oder einen durch natürliche Gegebenheiten entstandenen Hotspot handelt, beginnt das Sammeln der Daten, um die Schwachstellen korrekt aufzunehmen. Der Emissionsgrad, die Identifikation der Komponente und die tatsächlichen Arbeitsbedingungen werden zusammen mit der gemessenen Temperatur protokolliert. Um die Identifikation zu erleichtern, wird oft eine Tageslichtfoto der Schwachstelle gemacht.

28.2.4 Klassifizierung und Berichterstellung

Die Berichterstellung ist seit jeher der zeitaufwändigste Teil der Infrarotuntersuchung. Eine Untersuchung, die einen Tag gedauert hat, kann ein oder zwei Tage Arbeit bedeuten, um die gefundenen Schwachstellen zu dokumentieren und zu klassifizieren. Dies trifft immer noch für viele Thermografen zu, die die Vorteile von Computern und der modernen Berichterstellungssoftware noch nicht nutzen.

Das Klassifizieren der Mängel gibt einen detaillierteren Einblick, der nicht nur die Situation zum Zeitpunkt der Untersuchung in Betracht zieht (was sicherlich sehr wichtig ist) sondern auch die Möglichkeit die Übertemperatur an die Standardbelastung und Umgebungstemperatur anzupassen.

Eine Übertemperatur von +30 °C ist ein erheblicher Mangel. Wenn die Übertemperatur bei einer Komponente einer Anlage gemessen wurde, die zu 100 % belastet ist, und bei einer anderen, die nur eine Belastung von 50 % hat, wird die letztere eine viel höhere Temperatur erreichen, wenn ihre Last von 50 % auf 100 % steigt. Ein solcher Standard kann je nach den Gegebenheiten der Anlage festgelegt werden. Meistens werden die Temperaturen jedoch für eine 100%-ige Belastung vorhergesagt. Ein Standard erleichtert das Vergleichen der Schwachstellen und ermöglicht eine genauere Klassifizierung.

28.2.5 Priorität

Der Wartungsleiter legt auf Grund der Klassifizierung der Mängel fest in welcher Reihenfolge diese behoben werden. Die während der Infrarotuntersuchung gesammelten Informationen werden oft durch Informationen zur Ausrüstung ergänzt. Diese stammen aus Schwingungsüberwachungen, Ultraschalluntersuchungen oder der vorbeugenden Instandhaltung.

Auch wenn IR-Untersuchungen die sich am schnellsten verbreitende Methode zur Erfassung von Daten zu elektrischen Komponenten unter normalen Betriebsbedingungen ist, gibt es noch viele andere Datenquellen, die der Wartungs- oder Produktionsleiter beachten muss.

Die Reihenfolge der Behebung der Mängel sollte deshalb nicht die Aufgabe des Benutzers der Infrarotkamera sein. Wenn während der Untersuchung oder der Klassifizierung ein Mangel gefunden wird, muss dies dem Wartungsleiter mitgeteilt werden. Letztendlich entscheidet jedoch er wie dringlich die Behebung des Mangels ist.

28.2.6 Behebung

Die Behebung bekannter Mängel ist die wichtigste Aufgabe der vorbeugenden Instandhaltung. Die Sicherstellung der Produktion zur richtigen Zeit und zu den richtigen Kosten kann ebenfalls wichtige Ziele für eine Instandhaltungsgruppe sein. Die Daten aus der Infrarotuntersuchung können sowohl zur Verbesserung der Mängelbehebung verwendet werden als auch zum Erreichen anderer Ziele mit kalkuliertem Risiko.

Die Überwachung der Temperatur eines bekannten Mangels, der nicht sofort behoben werden kann, beispielsweise weil keine Ersatzteile verfügbar sind, kostet oft ein Tausendfaches der Untersuchung und manchmal sogar soviel wie die Infrarotkamera. Die Entscheidung bekannte Mängel nicht zu beheben, um Wartungskosten und unnötige Ausfallzeiten zu vermeiden, ist eine andere Möglichkeit, die Daten der IR-Untersuchung produktiv zu nutzen.

Meistens wird nach der Identifizierung und Klassifizierung der festgestellten Schwachstellen empfohlen, diese sofort oder so schnell wie möglich zu beheben. Es ist wichtig, dass die für die Behebung zuständigen Personen sich mit den physikalischen Gesetzmäßigkeiten auskennen. Falls eine Schwachstelle eine hohe Temperatur aufweist, gehen die Reparaturmitarbeiter von einer stark korrodierten Komponente aus. Die Mitarbeiter sollten aber auch damit vertraut sein, dass ein intaktes, jedoch locker sitzendes Verbindungsstück dieselbe hohe Temperatur wie das korrodierte zur Folge haben kann. Diese Fehlinterpretationen kommen häufig vor und stellen die Zuverlässigkeit der Infrarotuntersuchung in Frage.

28.2.7 Überprüfung

Ein behobener Mangel sollte so früh wie möglich nach der Behebung überprüft werden. Es ist nicht effizient mit der Überprüfung der behobenen Mängel bis zur nächsten geplanten IR-Untersuchung zu warten. Statistiken zeigen, dass bis zu ein Drittel der behobenen Mängel immer noch eine Überhitzung aufweist. Somit stellen diese Mängel eine potentielle Gefahr dar.

Um die Anlage keiner unnötigen Gefahr auszusetzen, sollte nicht bis zur nächsten IR-Untersuchung gewartet werden.

Abgesehen von der erhöhten Effizienz des Wartungszyklus (weniger Gefahr für die Anlage) bietet die sofortige Überprüfung der Reparaturarbeiten auch andere Vorteile.

Falls ein Mangel nach der Behebung immer noch eine Überhitzung aufweist, kann der Reparaturvorgang verbessert werden, indem der Grund der Überhitzung bestimmt wird. Somit können die besten Zulieferer ausgewählt werden und Konstruktionsmängel an der elektrischen Anlage ausfindig gemacht werden. Die Reparaturmitarbeiter können die Folgen ihrer Arbeit sehen und somit schnell von erfolgreichen Behebungen sowie aus Fehlern lernen.

Ein weiterer Grund, warum das Reparaturteam mit einem IR-Gerät ausgestattet sein sollte, ist, dass viele der während der IR-Untersuchung ermittelten Mängel eine geringe Priorität aufweisen. Anstatt die Mängel zu beheben, was Wartungs- und Produktionszeit kostet, kann man sie auch durch regelmäßige Überprüfungen unter Kontrolle halten. Deshalb sollte das Wartungspersonal Zugang zur eigenen IR-Ausrüstung haben.

Auf dem Berichtsformular werden in der Regel die während der Reparatur festgestellte Art der Schwachstellen sowie die durchgeführten Maßnahmen dokumentiert. Diese Beobachtungen ergeben eine wichtige Erfahrungsquelle, die zu Materialeinsparung, zur Auswahl der besten Zulieferer oder zur Schulung neuer Wartungsmitarbeiter genutzt werden kann.

28.3 Messverfahren für thermografische Untersuchungen an elektrischen Anlagen

28.3.1 Richtiges Vorbereiten der Ausrüstung

Ein Wärmebild kann hohe Temperaturschwankungen aufzeigen:

10712803;a4

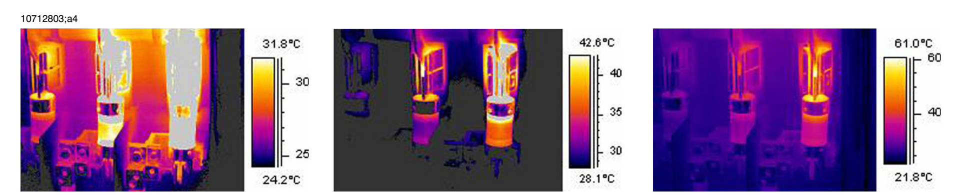


Abbildung 28.2 Temperaturschwankungen in einem Sicherungskasten

In den Bildern oben hat die Sicherung rechts eine maximale Temperatur von +61 °C, wobei die linke maximal +32 °C aufweist und die mittlere irgendwo dazwischen liegt. In allen drei Bildern weist nur eine Sicherung tatsächlich eine erhöhte Temperatur auf. Nur das erste zeigt dies jedoch deutlich und zwar auf Grund der höher eingestellten Temperaturspanne. Es hängt also immer davon ab, wie die Werte der Temperaturskala eingestellt werden.

28.3.2 Temperaturmessungen

Einige Kameras können heutzutage automatisch den höchsten Temperaturwert im Bild ausfindig machen. Das Bild unten zeigt, wie es aus der Sicht des Benutzers aussieht.

10712903;a3

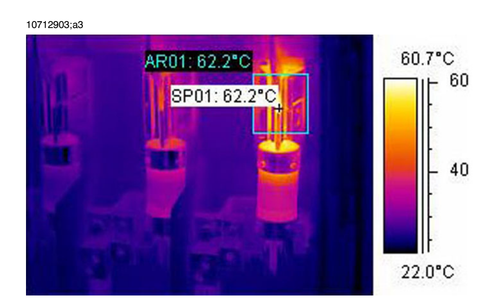


Abbildung 28.3 Ein Infrarotbild eines Sicherungskastens, das die maximale Temperatur anzeigt

Die maximale Temperatur im Bereich beträgt +62,2 °C. Der Messpunkt zeigt die genaue Stelle des Hotspots an. Das Bild kann problemlos im Kameraspeicher gespeichert werden.

Die korrekte Temperaturmessung hängt jedoch nicht nur von den Funktionen der Auswertungssoftware oder der Kamera ab. Es kann vorkommen, dass die tatsächliche Schwachstelle ein Verbindungsstück ist, das im Moment der Kameraaufnahme ver-

deckt und somit nicht zu sehen ist. Sie können somit Wärme messen, obwohl die 'eigentlichen' Hotspots verdeckt sind, da die Wärme über einige Entfernung hinweg geleitet wurde. Ein Beispiel zeigt das Bild unten.

10717603;a3

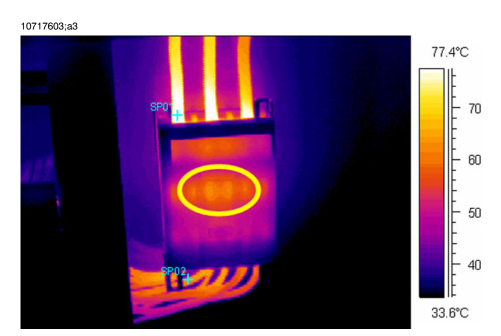


Abbildung 28.4 Ein verdeckter Hotspot in einem Kasten

Probieren Sie Aufnahmen aus verschiedenen Blickwinkeln, und stellen Sie sicher, dass der warme Bereich vollständig zu sehen ist und nicht hinter etwas verschwindet, das den heißesten Punkt verdeckt. Der heißeste Punkt in diesem Bild, den die Kamera 'wahrnehmen' kann ist +83 °C, wobei die Betriebstemperatur der Kabel unter dem Kasten nur +60 °C beträgt. Höchstwahrscheinlich befindet sich der eigentliche Hotspot im Inneren des Kastens (siehe gelb umrandeter Bereich). Die Schwachstelle weist eine Übertemperatur von +23 °C auf, der tatsächliche Defekt ist jedoch möglicherweise viel heißer.

Ein weiterer Grund für eine Fehleinschätzung der Temperatur eines Objektes ist eine schlechte Fokussierung. Es ist sehr wichtig, dass der Fokus auf den gefundenen Hotspot gerichtet ist. Siehe Beispiel unten.

10717403;a2

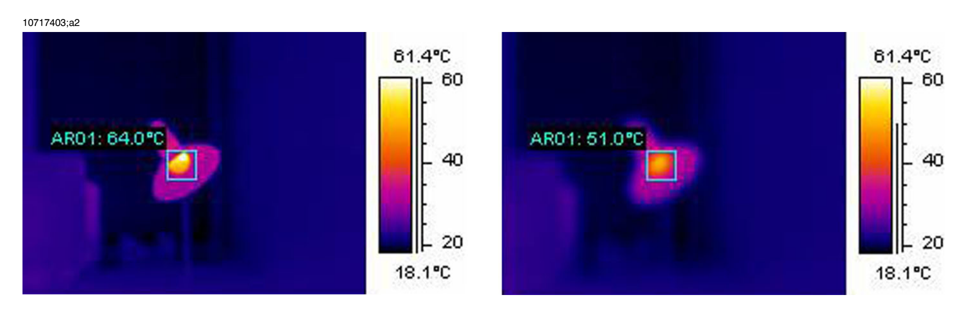


Abbildung 28.5 **LINKS:** Fokus auf den Hotspot **RECHTS:** Fokus nicht auf den Hotspot

Im linken Bild ist der Fokus auf die Glühlampe gerichtet. Seine Durchschnittstemperatur beträgt +64 °C. Im rechten Bild ist der Fokus nicht auf die Glühlampe fokussiert worden, was zu einer Durchschnittstemperatur von nur +51 °C führt.

28.3.3 Vergleichsmessung

Für thermografische Untersuchungen elektrischer Anlagen wird eine bestimmte Methode eingesetzt, die auf dem Vergleich verschiedener Objekte beruht, der sogenannten *Referenzmessung*. Dabei werden einfach die drei Phasen miteinander verglichen. Bei diesem Verfahren werden systematisch alle drei Phasen nebeneinander erfasst, um festzustellen, ob ein Punkt vom normalen Temperaturmuster abweicht.

Ein normales Temperaturmuster bedeutet, dass stromführende Komponenten eine Betriebstemperatur aufweisen, die in einer bestimmten Farbe (oder Grauton) angezeigt wird und normalerweise für alle drei Phasen unter symmetrischer Belastung identisch ist. Kleinere Unterschiede in Bezug auf die Farbe können im Stromverlauf auftreten, beispielsweise an der Kontaktstelle zweier verschiedener Materialien, an größer oder kleiner werdenden Anschlussflächen oder in Trennschaltern, in denen sich der Stromverlauf befindet.

Das Bild unten zeigt drei Sicherungen, die alle in etwa die gleiche Temperatur aufweisen. Die eingefügte Isotherme zeigt weniger als +2 °C Temperaturunterschied zwischen den Phasen an.

Wenn die Phasen asymmetrisch belastet werden, wird das Ergebnis meist in verschiedenen Farben dargestellt. Die Farbunterschiede stellen keine Überhitzung dar, da sie nicht nur in einem bestimmten Bereich, sondern in der gesamten Phase vorkommen.

10713203;a3



Abbildung 28.6 Eine Isotherme in einem Infrarotbild eines Sicherungskastens

Ein ‘echter’ Hotspot zeigt eine höhere Temperatur an, je näher Sie an die Hitzequelle kommen. Auf dem Bild unten sehen Sie eine Profillinie, die eine ständig zunehmende Temperatur anzeigt, die im Hotspot +93 °C erreicht hat.

10713303;a4

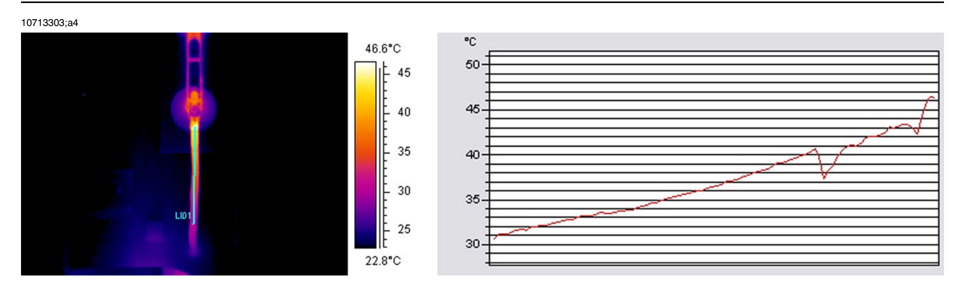


Abbildung 28.7 Eine Profillinie in einem Infrarotbild und ein Diagramm, die die zunehmende Temperatur darstellen

28.3.4 Normale Betriebstemperatur

Temperaturmessung mittels Thermografie gibt normalerweise die absolute Temperatur des Objektes an. Um genau zu bestimmen, ob die Komponente zu heiß ist, sollten Sie die Betriebstemperatur kennen, die unter Berücksichtigung der Belastung und der Umgebungstemperatur die normale Temperatur des Objektes ist.

Da mittels Direktmessung die absolute Temperatur ermittelt wird—, die ebenfalls berücksichtigt werden muss (da die meisten Komponenten eine Obergrenze für die absolute Temperatur haben)—, ist es notwendig, die voraussichtliche Betriebstemperatur auf Grund der Belastung und der Umgebungstemperatur zu ermitteln. Beachten Sie die folgenden Definitionen:

- Betriebstemperatur: die absolute Temperatur der Komponente. Sie ist von der aktuellen Belastung und der Umgebungstemperatur abhängig. Sie ist immer höher als die Umgebungstemperatur.
- Übertemperatur (Überhitzung): Der Temperaturunterschied zwischen einer ordnungsgemäß und einer fehlerhaft arbeitenden Komponente.

Die Übertemperatur wird aus dem Unterschied zwischen der Temperatur einer ‘normalen’ Komponente und der Temperatur der benachbarten Komponenten ermittelt. Es ist wichtig, die gleichen Punkte in den verschiedenen Phasen miteinander zu vergleichen.

Im Folgenden sehen Sie ein Beispielbild von Innenanlagen:

10713403;a4



Abbildung 28.8 Ein Infrarotbild von elektrischen Innenanlagen (1).

Die beiden linken Phasen sind normal, wobei die rechte Phase eine deutliche Übertemperatur aufweist. Die Betriebstemperatur der linken Phase beträgt +68 °C, was bereits beachtlich ist. Bei der defekten Phase rechts liegt die Temperatur jedoch bei stolzen +86 °C. Es handelt sich dabei um eine Übertemperatur von +18 °C, das heißt eine Schwachstelle, die schell behoben werden muss.

Aus praktischen Gründen gilt die (normale, geschätzte) Betriebstemperatur einer Komponente in mindestens zwei von drei Phasen als die Temperatur der Komponente, vorausgesetzt sie arbeiten ordnungsgemäß. Im ‘Normalfall‘ haben alle drei Phasen dieselbe oder wenigstens annähernd dieselbe Temperatur. Die Betriebstemperatur von Außenbauteilen in Schaltanlagen oder Hochspannungsleitungen liegt normalerweise nur 1 °C oder 2 °C über der Lufttemperatur. In Innenschaltanlagen variieren die Betriebstemperaturen um einiges mehr.

Dies ist auch im unten stehenden Bild deutlich erkennbar. Hier weist die linke Phase eine Übertemperatur auf. Die Betriebstemperatur der zwei ‘kalten’ Phasen beträgt +66 °C. Die defekte Phase weist eine Temperatur von +127 °C auf. Der Defekt muss sofort behoben werden.

10713503;a5

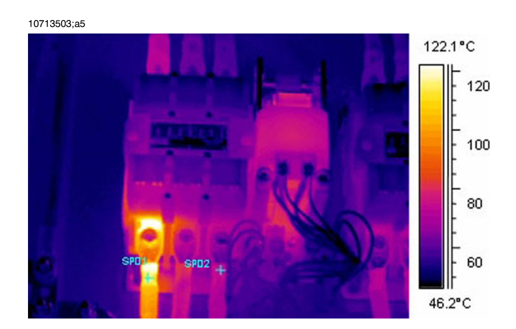


Abbildung 28.9 Ein Infrarotbild von elektrischen Innenanlagen (2).

28.3.5 Klassifizierung von Schwachstellen

Nachdem eine Schwachstelle ausfindig gemacht wurde, muss diese je nach Dringlichkeit sofort oder erst später behoben werden. Die folgenden Kriterien sollten bei der Auswahl der besten Vorgehensweise in Betracht gezogen werden:

- Last während der Messung
- Gleichmäßige oder wechselnde Last
- Lage der Schwachstelle in der elektrischen Anlage
- Zu erwartende zukünftige Lastsituation
- Wurde die Übertemperatur direkt am defekten Punkt gemessen oder resultiert sie aus geleiteter Wärme, die durch einen Defekt im System entstanden ist.

Übertemperaturen, die direkt am defekten Bauteil gemessen wurden, werden normalerweise in drei Gruppen eingeteilt, die sich auf 100 % der maximalen Last beziehen.

I	< 5 °C	Beginnende Überhitzung. Dieser Vorgang muss genau überwacht werden.
II	5 – 30 °C	Mittlere Überhitzung. Muss möglichst bald behoben werden (bedenken Sie die Lastsituation, bevor Sie eine Entscheidung treffen).
III	> 30 °C	Starke Überhitzung. Muss sofort behoben werden (bedenken Sie die Lastsituation, bevor Sie eine Entscheidung treffen).

28.4 Berichterstellung

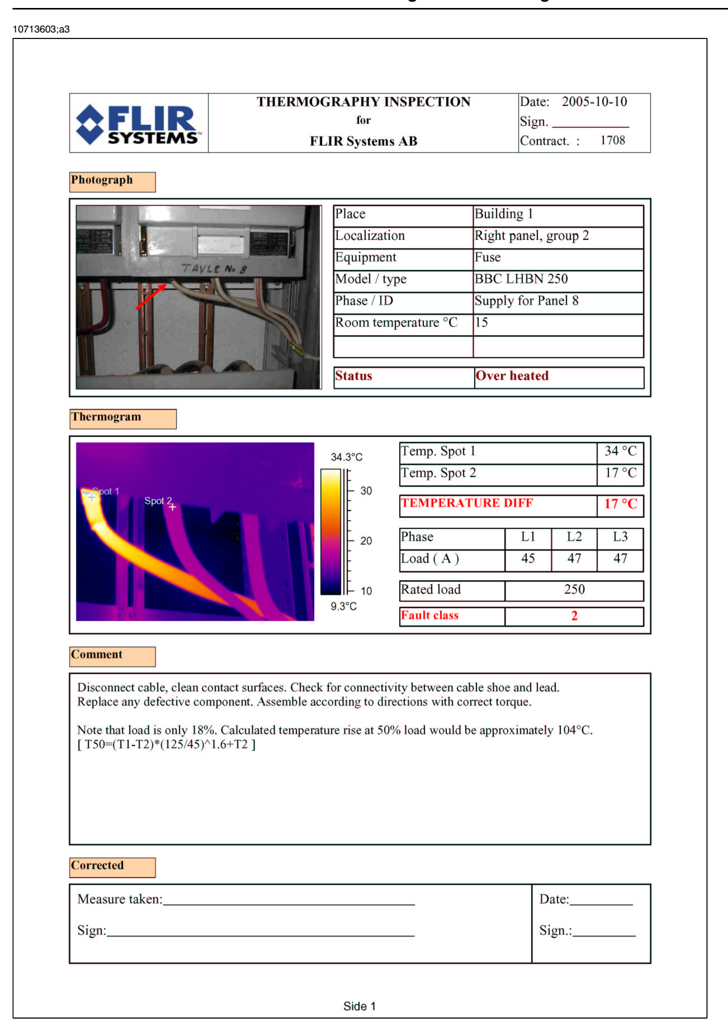
Thermografische Untersuchungen an elektrischen Anlagen werden heutzutage ausnahmslos mit Hilfe von Berichterstellungsprogrammen dokumentiert und dargestellt. Diese von Hersteller zu Hersteller unterschiedlichen Programme sind normalerweise direkt auf die Kameras abgestimmt und ermöglichen somit ein schnelles und einfaches Darstellen der Daten.

Der Bericht unten wurde beispielsweise mit dem Programm FLIR Reporter erstellt. Es ist mit vielen Infrarotkameratypen von FLIR Systems kompatibel.

Ein professioneller Bericht wird meistens in folgende zwei Abschnitte unterteilt:

- Titelseiten, mit Angaben zur Untersuchung, wie beispielsweise:
  - Kundendaten, beispielsweise Name des Unternehmens und Ansprechpartner
  - Standort der Untersuchung: Adresse, Ort usw.
  - Datum der Untersuchung
  - Datum der Berichterstellung
  - Name des Thermografen
  - Unterschrift des Thermografen
  - Übersicht oder Inhaltsverzeichnis
- Seiten über die Untersuchung mit Infrarotbildern zum Dokumentieren und Analysieren von thermischen Eigenschaften oder Unregelmäßigkeiten.
  - Identifizierung des untersuchten Objektes:
    - Welches Objekt: Benennung, Name, Nummer usw.
    - Aufnahme
  - Infrarotbild Beachten Sie Folgendes, wenn Sie Infrarotbilder aufnehmen:
    - Optischer Fokus
    - Wärmeangleichung des Orts oder des Problems (Level und Span)
    - Ausrichtung: Richtiger Beobachtungsabstand und Betrachtungswinkel.
  - Kommentar
    - Wurde eine Unregelmäßigkeit festgestellt?
    - Wurde eine Reflexion festgestellt?
    - Verwenden Sie ein Messwerkzeug, beispielsweise Messpunkt, Fläche oder Isotherme, um das Problem zu bestimmen. Verwenden Sie möglichst ein einfaches Werkzeug. Ein Profildiagramm wird nur selten in elektronischen Berichten benötigt.

10713603;a3



FLIR SYSTEMS	**THERMOGRAPHY INSPECTION** **for** **FLIR Systems AB**	Date: 2005-10-10 Sign. ___________ Contract. : 1708

Photograph

Place	Building 1
Localization	Right panel, group 2
Equipment	Fuse
Model / type	BBC LHBN 250
Phase / ID	Supply for Panel 8
Room temperature °C	15
Status	**Over heated**

Thermogram

Temp. Spot 1	34 °C
Temp. Spot 2	17 °C
TEMPERATURE DIFF	**17 °C**

Phase	L1	L2	L3
Load (A)	45	47	47

Rated load	250
Fault class	**2**

Comment

Disconnect cable, clean contact surfaces. Check for connectivity between cable shoe and lead. Replace any defective component. Assemble according to directions with correct torque.

Note that load is only 18%. Calculated temperature rise at 50% load would be approximately 104°C.
[T50=(T1-T2)*(125/45)^1.6+T2]

Corrected

Measure taken:___________________________________	Date:_________
Sign:____	Sign.:_________

Side 1

Abbildung 28.10 Beispiel eines Berichts

28.5 Verschiedene Typen von Hotspots in elektrischen Anlagen

28.5.1 Reflexionen

Die Thermografie-Kamera nimmt jegliche Strahlung wahr, die durch das Objektiv eintritt. Sie nimmt nicht nur die Strahlung vom zu untersuchenden Objekt auf, sondern auch von anderen Quellen, die durch das Zielobjekt reflektiert werden. Meistens verhalten sich elektrische Komponenten wie ein Spiegel für die Infrarotstrahlung, selbst wenn sie für das Auge nicht sichtbar sind. Reine Metallteile glänzen besonders im Gegensatz zu angestrichenen und mit Plastik oder Gummi isolierten Teilen. Im Bild unten lässt sich deutlich das Spiegelbild des Thermografen erkennen. Hierbei handelt es sich natürlich nicht um einen Hotspot im Objekt. Zum Herausfinden, ob es sich um eine Reflexion handelt oder nicht, ist ein Positionswechsel eine gute Möglichkeit. Schauen Sie sich das Ziel aus einem anderen Winkel an und beobachten Sie, ob es sich um einen 'Hotspot' handelt. Wenn er sich bewegt, wenn Sie sich bewegen, handelt es sich um eine Reflexion.

Es ist nicht möglich, die Temperatur von Reflexionen zu messen. Das Objekt in den Bildern unten hat gestrichene Bereiche, die sich gut zum Messen der Temperatur eignen. Das Material ist aus Kupfer, das ein guter Wärmeleiter ist. Das bedeutet, dass nur geringe Temperaturunterschiede auf der Oberfläche vorkommen.

10717503;a2

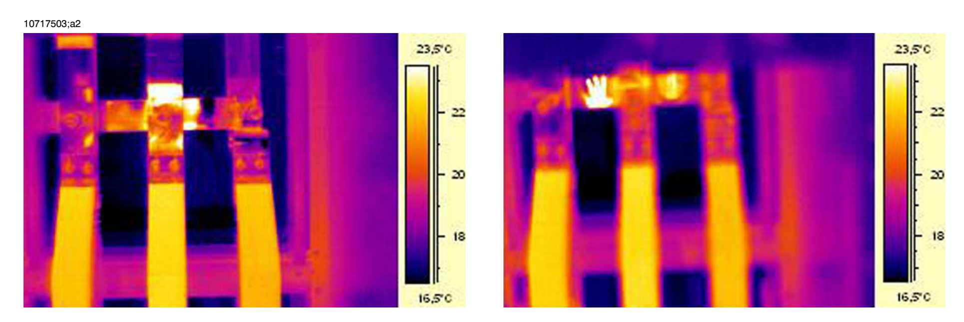


Abbildung 28.11 Reflexionen in einem Objekt

28.5.2 Erwärmung durch Sonneneinstrahlung

Die Oberfläche einer Komponente mit hohem Emissionsgrad, beispielsweise ein Trennschalter, kann an einem heißen Sommertag durch die Sonneneinstrahlung eine beträchtliche Temperatur erreichen. Das Bild zeigt einen Trennschalter, der durch die Sonne erhitzt wurde.

10713803;a3

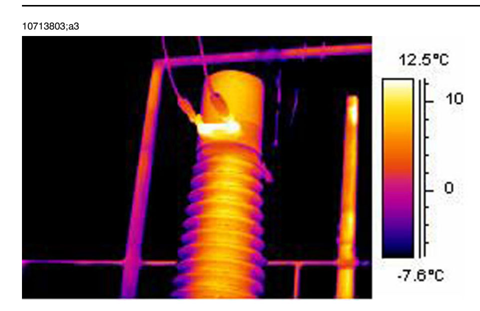


Abbildung 28.12 Infrarotbild eines Trennschalters

28.5.3 Induktive Erwärmung

10713903;a3

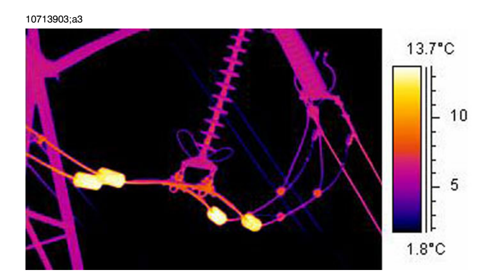


Abbildung 28.13 Infrarotbild von erwärmten stabilisierenden Gewichten

Wirbelströme können im Stromverlauf einen Hotspot verursachen. Bei Starkstrom und großer Nähe zu anderen Metallen kann es zu Bränden kommen. Diese Art von Erwärmung findet in magnetischen Materialien um den Stromverlauf herum statt, beispielsweise in Bodenplatten aus Metall für Durchführungsisolatoren. Das Bild oben zeigt stabilisierende Gewichte, durch die Starkstrom fließt. Diese Metallgewichte aus leicht magnetischem Material leiten keinen Strom. Sie sind jedoch den wechselnden Magnetfeldern ausgesetzt, die das Gewicht letztendlich aufwärmen. Die Überhitzung in dem Bild beträgt weniger als +5 °C. Dies muss jedoch nicht immer der Fall sein.

28.5.4 Lastunterschiede

3-Phasensysteme sind in Elektrizitätswerken üblich. Bei der Suche nach überhitzten Stellen können die drei Phasen, beispielsweise Kabel, Trennschalter und Isolatoren, problemlos direkt miteinander verglichen werden. Eine gleichmäßig auf die Phasen verteilte Last müsste ein einheitliches Temperaturmuster für alle drei Phasen ergeben. Eine Schwachstelle kann an Stellen vermutet werden, an denen eine Phase stark von den anderen beiden abweicht. Sie müssen jedoch sicherstellen, dass die Last gleichmäßig verteilt ist. Dies können Sie mit Hilfe fester Strommessgeräte oder eines Zangenstrommessgeräts (bis 600 A) feststellen.

10714003;a3

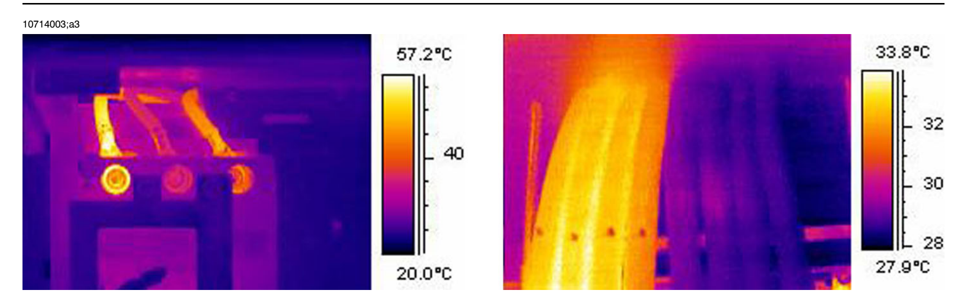


Abbildung 28.14 Beispiele von Infrarotbildern von Lastunterschieden

Das linke Bild zeigt drei nebeneinander liegende Kabel. Die Abstände zwischen den Kabeln sind so groß, dass von einer Wärmeisolierung ausgegangen werden kann. Das Kabel in der Mitte ist kälter als die anderen. Sofern nicht zwei Phasen defekt und überhitzt sind, ist dies ein typisches Beispiel für eine asymmetrische Belastung. Die Temperatur verteilt sich gleichmäßig in den Kabeln, was eher auf einen lastabhängigen Temperaturanstieg als auf eine defekte Verbindung hindeutet.

Das rechte Bild zeigt zwei Kabelbündel mit sehr unterschiedlichen Belastungen. Das linke Bündel hingegen weist so gut wie keine Last auf. Die Temperatur der Kabel, die belastet sind, liegt um etwa 5 °C höher als die, nicht belasteter Kabel. In diesen Beispielen sind keine Schwachstellen vorhanden.

28.5.5 Unterschiedliche Kühlungsbedingungen

10714103;a3

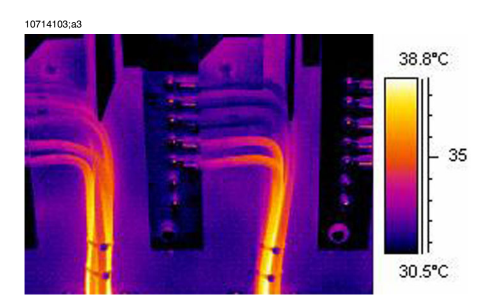


Abbildung 28.15 Infrarotbild von gebündelten Kabeln

Bei gebündelten Kabeln kann es vorkommen, dass auf Grund der schlechten Kühlung in der Mitte des Bündels die Kabel extrem hohe Temperaturen erreichen. Siehe Bild unten.

Die Kabel rechts im Bild weisen in der Nähe der Schrauben keine Überhitzung auf. Im vertikalen Teil des Bündels werden die Kabel jedoch fest zusammengehalten, die Kühlung der Kabel ist schlecht, die Wärme wird mittels Konvektion nicht abtransportiert und die Kabel sind auffallend heißer. Die Temperatur liegt dort etwa 5 °C über der Temperatur der besser gekühlten Bereiche der Kabel.

28.5.6 Beständigkeitsunterschiede

Überhitzung kann viele Ursachen haben. Einige häufige Ursachen sind unten beschrieben.

Leichter Druckkontakt entsteht bei Verbindungsstücken oder durch Materialabnutzung, beispielsweise durch nachlassende Federkraft, abgenutzte Gewinde von Muttern und Schrauben oder wenn bei der Montage zu viel Kraft angewendet wurde. Mit zunehmender Belastung und steigenden Temperaturen wird die Dehngrenze des Materials überschritten und die Spannung lässt nach.

Das Bild links zeigt einen schlechten Kontakt auf Grund einer locker sitzenden Schraube. Da der schlechte Kontakt nur einen kleinen Teil betrifft, wird die Überhitzung nur in einem kleinen Bereich verursacht, von dem aus die Wärme gleichmäßig auf das Verbindungskabel verteilt wird. Beachten Sie den geringeren Emissionsgrad der Schraube; normalerweise hat sie einen hohen Emissionsgrad, durch den sie etwas kühler als das isolierte Kabel wirkt.

Das Bild rechts zeigt ein weiteres Beispiel für eine Überhitzung, die diesmal auf eine locker sitzende Verbindung zurückzuführen ist. Es handelt sich um eine Außenverbindung, die demzufolge dem kühlenden Effekt des Windes ausgesetzt ist. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Überhitzung eine höhere Temperatur angezeigt hätte, wenn es sich um eine Innenverbindung handeln würde.

10714203;a3

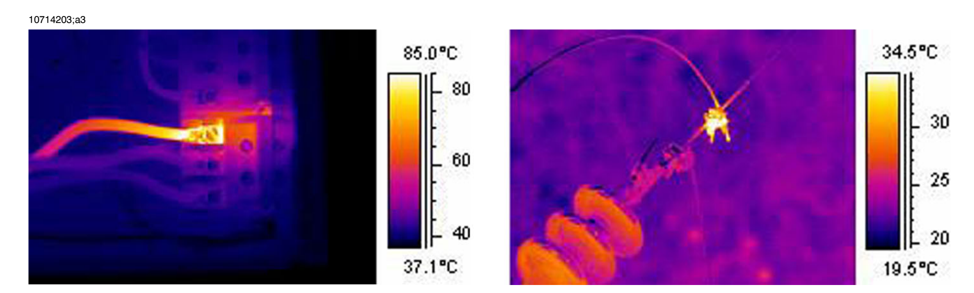


Abbildung 28.16 **LINKS:** Ein Infrarotbild mit einem schlechten Kontakt auf Grund einer lockeren Schraube **RECHTS:** Eine lockere Außenverbindung, die dem kühlenden Effekt des Windes ausgesetzt ist

28.5.7 Überhitzung eines Bereichs auf Grund einer Schwachstelle in einem anderen Bereich

Eine Überhitzung kann manchmal auch in einer intakten Komponente vorkommen. Der Grund dafür liegt darin, dass sich zwei Stromleiter die Belastung teilen. Einer der Stromleiter hat einen erhöhten Widerstand, der andere jedoch nicht. Dadurch trägt die defekte Komponente eine geringere Belastung, während die neuere Komponente einer höheren Belastung ausgesetzt ist, die möglicherweise zu hoch ist und die zu der erhöhten Temperatur führt. Siehe Bild.

10714303;a3

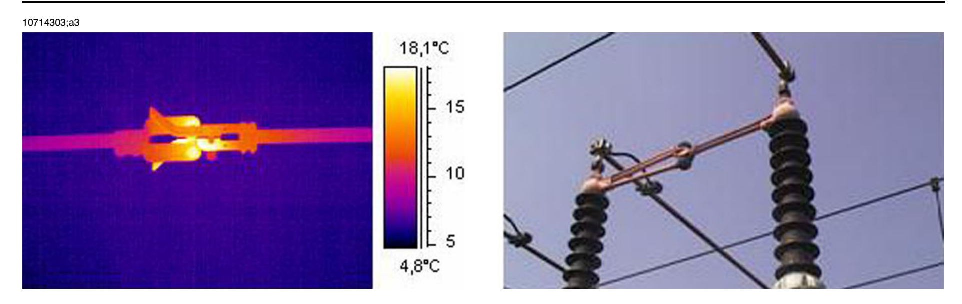


Abbildung 28.17 Überhitzung in einem Trennschalter

Die Überhitzung dieses Trennschalters wurde möglicherweise durch einen schlechten Kontakt im angrenzenden Weichenfinger des Trenners verursacht. Der weiter entfernte Weichenfinger führt mehr Strom und wird heißer. Die Komponente im Infrarotbild und in der Aufnahme ist nicht dieselbe, wenn auch sehr ähnlich.

28.6 Störfaktoren bei der thermografischen Untersuchung an elektrischen Anlagen

Während thermografischer Untersuchungen verschiedener elektrischer Anlagen beeinflussen Störfaktoren wie Wind, Entfernung zum Objekt, Regen oder Schnee oft die Messergebnisse.

28.6.1 Wind

Bei einer Untersuchung, die draußen durchgeführt wird, muss der kühlende Effekt des Windes berücksichtigt werden. Eine Überhitzung, die bei einer Windgeschwindigkeit von 5 m/s (10 Knoten) gemessen wird, wird bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s (2 Knoten) etwa doppelt so hoch sein. Eine Übertemperatur, die bei einer Windgeschwindigkeit von 8 m/s (16 Knoten) gemessen wird, wird bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s (2 Knoten) etwa 2,5-mal so hoch sein. Dieser Korrekturfaktor, der auf empirischen Messungen beruht, ist normalerweise bis 8 m/s (16 Knoten) anwendbar.

Es gibt jedoch Fälle, in denen Sie auch Untersuchungen durchführen müssen, wenn der Wind stärker als 8 m/s (16 Knoten) weht. Es gibt viele windige Orte auf der Welt, beispielsweise Inseln, Berge usw. Es ist jedoch wichtig zu wissen, dass die gefundenen überhitzten Komponenten bei geringerer Windstärke eine erheblich höhere Temperatur aufgewiesen hätten. Der empirische Korrekturfaktor kann verzeichnet werden.

Windgeschwindigkeit in m/s	Windgeschwindigkeit in Knoten	Korrekturfaktor
1	2	1
2	4	1,36
3	6	1,64
4	8	1,86
5	10	2,06
6	12	2,23
7	14	2.40
8	16	2,54

Die gemessene Überhitzung multipliziert mit dem Korrekturfaktor ergibt die Übertemperatur ohne Wind, die 1 m/s (2 Knoten) beträgt.

28.6.2 Regen und Schnee

Regen und Schnee wirken sich ebenfalls kühlend auf elektrische Anlagen aus. Thermografische Untersuchungen können bei leichtem Schneefall mit trockenem Schnee und leichtem Nieselregen noch durchgeführt werden. Unter diesen Bedingungen können noch zuverlässige Ergebnisse erzielt werden. Die Bildqualität verschlechtert sich jedoch bei starkem Schneefall oder Regen und zuverlässige Messergebnisse sind nicht mehr möglich. Das liegt hauptsächlich daran, dass die Infrarotstrahlen keinen starken Schneefall oder Regen durchdringen können und es wird somit eher die Temperatur der Schneeflocken oder Regentropfen gemessen.

28.6.3 Abstand zum Objekt

Dieses Bild wurde mit einem Abstand von 20 m von der defekten Verbindung aufgenommen. Der Abstand wurde fälschlicherweise auf 1 m eingestellt und es wurde eine Temperatur von +37,9 °C gemessen. Das rechte Bild zeigt den Messwert, nachdem der Abstand auf 20 m eingestellt wurde und die Temperatur +38,8 °C beträgt. Der Unterschied ist nicht beachtlich, kann jedoch dazu führen, dass die Schwachstelle ernster eingestuft wird als sie ist. Deshalb darf der Abstand zum Objekt nie außer Acht gelassen werden.

10714403;a3

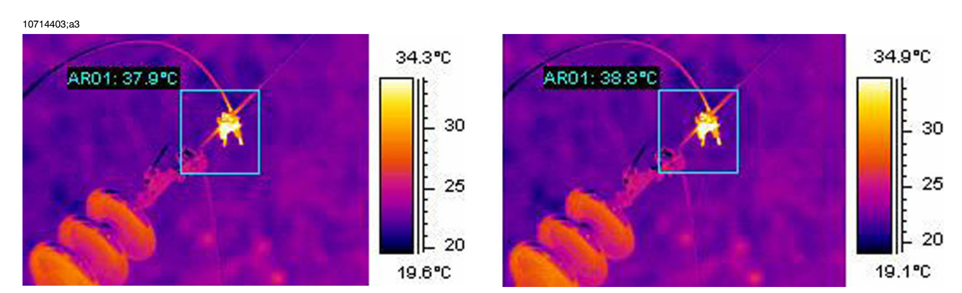


Abbildung 28.18 LINKS: Falsche Einstellung des Abstands **RECHTS:** Richtige Einstellung des Abstands

Die Bilder unten zeigen die Temperaturmesswerte eines Schwarzkörpers bei +85 °C mit zunehmendem Abstand.

10714503;a3

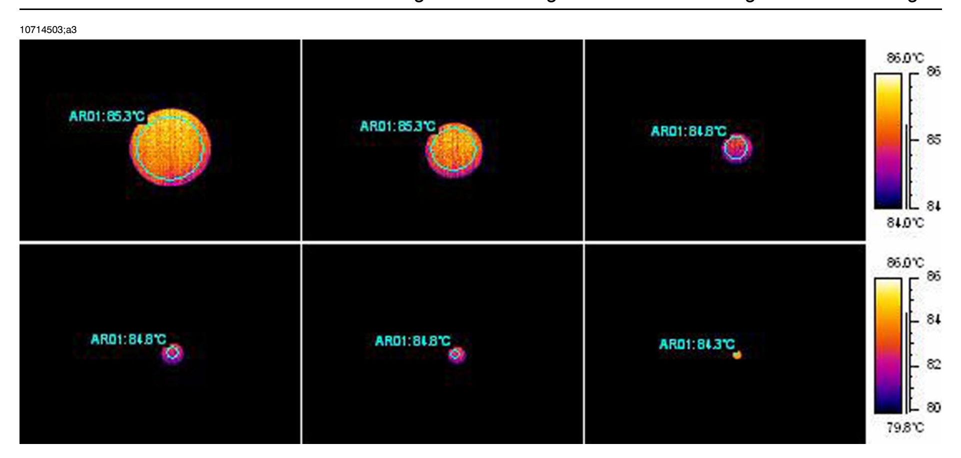


Abbildung 28.19 Temperaturmesswerte eines Schwarzkörpers bei +85 °C mit zunehmendem Abstand

Die gemessenen Durchschnittstemperaturen eines Schwarzkörpers bei +85 °C betragen von links nach rechts +85,3 °C, +85,3 °C, +84,8 °C, +84,8 °C, +84,8 °C und +84,3 °C. Die Thermogramme wurden mit einem 12-Grad-Objektiv aufgenommen. Die Abstände betragen 1, 2, 3, 4, 5 und 10 Meter. Die Korrektur der Entfernung wurde akribisch genau eingestellt und funktioniert, da das Objekt groß genug für ein genaues Messen ist.

28.6.4 Objektgröße

Die zweite Bilderreihe unten zeigt dasselbe, jedoch mit einen normalen 24-Grad-Objektiv aufgenommen. Hier betragen die gemessenen Durchschnittstemperaturen des Schwarzkörpers bei +85 °C: +84,2 °C, +83,7 °C, +83,3 °C, +83,3 °C, +83,4 °C and +78,4 °C.

Der letzte Wert (+78,4 °C) ist die maximale Temperatur, da es nicht möglich war einen Kreis innerhalb des jetzt sehr kleinen Bildes des Schwarzkörpers zu positionieren. Es ist nicht möglich korrekte Messwerte zu erhalten, wenn das Objekt zu klein ist. Der Abstand wurde ordnungsgemäß auf 10 m eingestellt.

10714603;a3

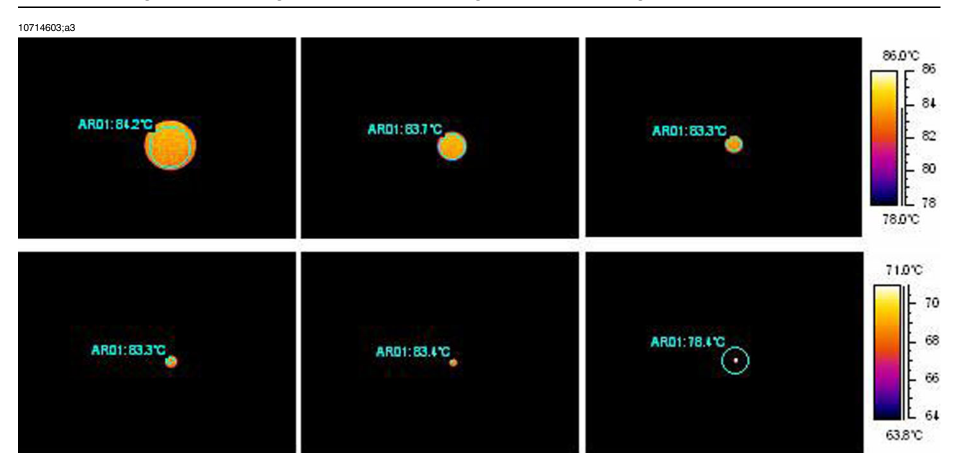


Abbildung 28.20 Temperaturmesswerte eines Schwarzkörpers bei +85 °C mit zunehmendem Abstand (24°-Objektiv)

Der Grund dafür ist, dass es eine kleinste Objektgröße gibt, bei der noch korrekte Temperaturmessungen vorgenommen werden können. Die kleinste Größe wird dem Benutzer in allen FLIR Systems-Kameras angezeigt. Das Bild unten zeigt den Bildsucher des Kameramodells PM695. Das Fadenkreuz des Messpunktes ist in der Mitte geöffnet. Dies ist im Bild rechts noch deutlicher zu erkennen. Das Objekt muss größer sein als diese Öffnung. Sonst kann Strahlung von viel kälteren Nachbarobjekten in die Messung mit einfließen und zu einem niedrigeren Ergebnis führen. Im Falle des runden Objektes oben, das viel heißer ist als die es umgebenden Objekte, ist der Temperaturmesswert zu niedrig.

10714703;a3

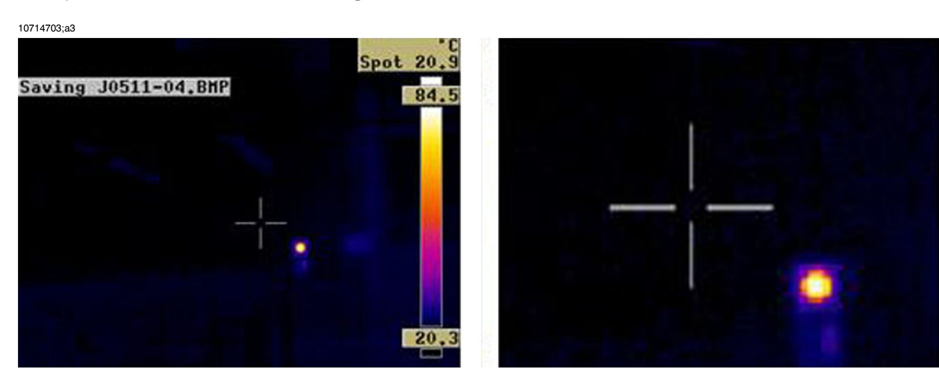


Abbildung 28.21 Bild im Sucher einer ThermaCAM 695

Dies liegt zum einen an optischen Fehlern und zum anderen an der Größe des Detektorelements. Es ist für alle Infrarotkameras normal und kann nicht verhindert werden.

Publ. No. T559651 Rev. a540 – GERMAN (DE) – May 25, 2011

28.7 Praktische Hinweise für den Thermografen

Beim praktischen Arbeiten mit der Kamera werden Sie viele Details kennenlernen, die Ihnen die Arbeit erleichtern. Fünf davon stellen wir Ihnen hier vor.

28.7.1 Von der Kälte in die Wärme

Sie waren mit der Kamera bei +5 °C draußen. Sie müssen die Untersuchung drinnen weiter führen. Wenn Sie Brillenträger sind, sind Sie daran gewöhnt das Kondenswasser abwischen zu müssen, um wieder richtig sehen zu können. Dasselbe gilt für die Kamera. Um eine genaue Messung durchführen zu können, sollten Sie warten, bis die Kamera warm genug ist und das Kondenswasser verdunsten kann. Somit kann sich auch das interne Temperaturausgleichsystem an die veränderten Bedingungen anpassen.

28.7.2 Regenschauer

Bei Regen sollten Sie die Untersuchung nicht durchführen, da das Wasser die Oberflächentemperatur des zu untersuchenden Objektes stark verändert. Es kann jedoch vorkommen, dass Sie die Kamera auch bei Regenschauern verwenden müssen. Schützen Sie in diesem Fall Ihre Kamera mit einer einfachen transparenten Polyäthylen-Plastiktüte. Die durch die Plastiktüte hervorgerufene Abschwächung kann behoben werden, indem der Abstand zum Objekt solange angepasst wird, bis die Temperatur den Wert erreicht hat, den sie ohne Plastiktüte hatte. Einige Kameramodelle haben einen eigenen externen Eingang für die **optische Transmission**.

28.7.3 Emissionsgrad

Sie müssen den Emissionsgrad des zu messenden Materials bestimmen. Meistens ist der Wert nicht in Tabellen zu finden. Verwenden Sie die schwarze Farbe Nextel Black Velvet. Streichen Sie einen kleinen Teil des Materials, mit dem Sie arbeiten. Der Emissionsgrad der optischen Farbe beträgt normalerweise 0,94. Bedenken Sie, dass das Objekt eine andere (normalerweise höhere Temperatur) als die Umgebung aufweisen muss. Je größer die Differenz desto genauer sind die Berechnungen des Emissionsgrades. Die Differenz sollte mindesten 20 °C betragen. Bedenken Sie, dass es auch noch andere Farben gibt, die sehr hohen Temperaturen bis +800 °C Stand halten können. Der Emissionsgrad kann jedoch geringer sein als bei schwarzer Farbe.

Manchmal können Sie das zu messende Objekt nicht streichen. In diesem Fall können Sie ein Klebeband verwenden. Ein dünnes Klebeband, für das Sie vorher den Emissionsgrad bestimmt haben, funktioniert in den meisten Fällen und Sie können es danach leicht wieder entfernen, ohne das zu untersuchende Objekt zu beschädigen. Beachten Sie, dass einige Klebebänder halbtransparent sind und sich deshalb für diesen Zweck nicht eignen. Empfehlenswert ist ein kältebeständiges Elektroisolierband von Scotch für die Außenverwendung.

28.7.4 Reflektierte scheinbare Temperatur

Sie befinden sich in einer Messsituation, in der die Messung durch verschiedene heiße Stellen beeinflusst wird. Sie müssen den richtigen Wert für die reflektierte scheinbare Temperatur kennen, um ihn in die Kamera einzugeben und somit die bestmögliche Korrektur zu erhalten. Gehen Sie folgendermaßen vor: Setzen Sie den Emissionsgrad auf 1,0. Stellen Sie das Kameraobjektiv auf Naheinstellung, und speichern Sie ein Bild, indem Sie die Kamera in die entgegengesetzte Richtung des Objektes richten. Bestimmen Sie mit dem Bereich oder den Isothermen den wahrscheinlichsten Durchschnittswert des Bildes, und geben Sie diesen Wert als reflektierte scheinbare Temperatur ein.

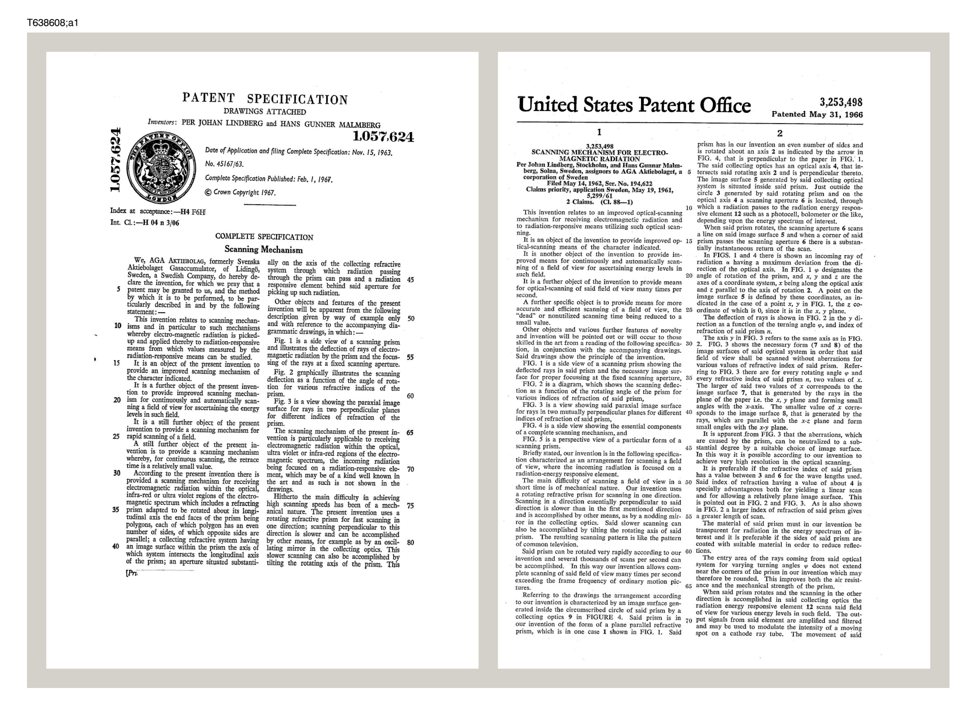
28.7.5 Objekt ist zu weit entfernt

Sind Sie im Zweifel, ob Ihre Kamera bei dem tatsächlichen Abstand genau misst? Als Faustregel für Ihr Objektiv gilt die Multiplikation des Sofort-Gesichtfeldes (IFOV) mit 3. (IFOV ist das Objektdetail, das von einem einzelnen Detektorelement gesehen wird.) Beispiel: 25 Grad entsprechen in etwa 437 mrad. Falls Ihre Kamera ein 120 × 120-Pixel-Bild hat, beträgt das IFOV 437/120 = 3,6 mrad (3,6 mm/m) und das Verhältnis der Punktgröße ist ungefähr 1000/(3 × 3,6) = 92:1. Das bedeutet, dass bei einem Abstand von 9,2 m Ihr Ziel mindestens 0,1 m oder 100 mm groß sein muss. Um ganz sicher zu gehen, sollten Sie nicht weiter als 9 m entfernt sein. Zwischen 7 – 8 m erzielen Sie richtige Ergebnisse.

29 Informationen zu FLIR Systems

1978 gegründet, hat FLIR Systems auf dem Gebiet der Hochleistungs-Infrarotbildsysteme Pionierarbeit geleistet und ist weltweit führend bei Entwicklung, Herstellung und Vertrieb von Wärmebildsystemen für vielfältige Anwendungsbereiche in Handel und Industrie sowie für den Regierungssektor. Heute umfasst FLIR Systems fünf große Unternehmen, die seit 1958 herausragende Erfolge in der Infrarottechnologie verzeichnen: die schwedische AGEMA Infrared Systems (vormals AGA Infrared Systems), die drei US-amerikanischen Unternehmen Indigo Systems, FSI und Inframetrics sowie das französische Unternehmen Cedip. Extech Instruments wurde im November 2007 von FLIR Systems erworben.

T638608;a1



PATENT SPECIFICATION

DRAWINGS ATTACHED

Inventors: PER JOHAN LINDBERG and HANS GUNNER MALMBERG

1,057,624

1,057,624

Date of Application and filing Complete Specification: Nov. 15, 1963.

No. 45167/63.

Complete Specification Published: Feb. 1, 1967.

© Crown Copyright 1967.

Index at acceptance:—H4 F6H

Int. Cl.:—H 04 n 3/06

COMPLETE SPECIFICATION

Scanning Mechanism

We, AGA AKTIEBOLAG, formerly Svenska Aktiebolaget Gasaccumulator, of Lidingö, Sweden, a Swedish Company, do hereby declare the invention, for which we pray that a patent may be granted to us, and the method by which it is to be performed, to be particularly described in and by the following statement:—

This invention relates to scanning mechanisms and in particular to such mechanisms whereby electro-magnetic radiation is picked-up and applied thereby to radiation-responsive means from which values measured by the radiation-responsive means can be studied.

It is an object of the present invention to provide an improved scanning mechanism of the character indicated.

It is a further object of the present invention to provide improved scanning mechanism for continuously and automatically scanning a field of view for ascertaining the energy levels in such field.

It is a still further object of the present invention to provide a scanning mechanism for rapid scanning of a field.

A still further object of the present invention is to provide a scanning mechanism whereby, for continuous scanning, the retrace time is a relatively small value.

According to the present invention there is provided a scanning mechanism for receiving electromagnetic radiation within the optical, infra-red or ultra violet regions of the electromagnetic spectrum which includes a refracting prism adapted to be rotated about its longitudinal axis the end faces of the prism being polygons, each of which polygon has an even number of sides, of which opposite sides are parallel; a collecting refractive system having an image surface within the prism the axis of which system intersects the longitudinal axis of the prism; an aperture situated substantially on the axis of the collecting refractive system through which radiation passing through the prism can pass and a radiation responsive element behind said aperture for picking up such radiation.

Other objects and features of the present invention will be apparent from the following description given by way of example only and with reference to the accompanying diagrammatic drawings, in which:—

Fig. 1 is a side view of a scanning prism and illustrates the deflection of rays of electromagnetic radiation by the prism and the focussing of the rays at a fixed scanning aperture.

Fig. 2 graphically illustrates the scanning deflection as a function of the angle of rotation for various refractive indices of the prism.

Fig. 3 is a view showing the paraxial image surface for rays in two perpendicular planes for different indices of refraction of the prism.

The scanning mechanism of the present invention is particularly applicable to receiving electromagnetic radiation within the optical, ultra violet or infra-red regions of the electromagnetic spectrum, the incoming radiation being focused on a radiation-responsive element, which may be of a kind well known in the art and as such is not shown in the drawings.

Hitherto the main difficulty in achieving high scanning speeds has been of a mechanical nature. The present invention uses a rotating refractive prism for fast scanning in one direction; scanning perpendicular to this direction is slower and can be accomplished by other means, for example as by an oscillating mirror in the collecting optics. This slower scanning can also be accomplished by tilting the rotating axis of the prism. This

[Pr

United States Patent Office

3,253,498

Patented May 31, 1966

1

3,253,498

SCANNING MECHANISM FOR ELECTRO-MAGNETIC RADIATION

Per Johan Lindberg, Stockholm, and Hans Gunnar Malmberg, Solna, Sweden, assignors to AGA Aktiebolaget, a corporation of Sweden

Filed May 14, 1962, Ser. No. 194,622

Claims priority, application Sweden, May 19, 1961, 5,299/61

2 Claims. (Cl. 88—1)

This invention relates to an improved optical-scanning mechanism for receiving electromagnetic radiation and to radiation-responsive means utilizing such optical scanning.

It is an object of the invention to provide improved optical-scanning means of the character indicated.

It is another object of the invention to provide improved means for continuously and automatically scanning of a field of view for ascertaining energy levels in such field.

It is a further object of the invention to provide means for optical-scanning of said field of view many times per second.

A further specific object is to provide means for more accurate and efficient scanning of a field of view, the "dead" or nonutilized scanning time being reduced to a small value.

Other objects and various further features of novelty and invention will be pointed out or will occur to those skilled in the art from a reading of the following specification, in conjunction with the accompanying drawings. Said drawings show the principle of the invention.

FIG. 1 is a side view of a scanning prism showing the deflected rays in said prism and the necessary image surface for proper focussing at the fixed scanning aperture,

FIG. 2 is a diagram, which shows the scanning deflection as a function of the rotating angle of the prism for various indices of refraction of said prism,

FIG. 3 is a view showing said paraxial image surface for rays in two mutually perpendicular planes for different indices of refraction of said prism,

FIG. 4 is a side view showing the essential components of a complete scanning mechanism, and

FIG. 5 is a perspective view of a particular form of a scanning prism.

Briefly stated, our invention is in the following specification characterized as an arrangement for scanning a field of view, where the incoming radiation is focused on a radiation-energy responsive element.

The main difficulty of scanning a field of view in a short time is of mechanical nature. Our invention uses a rotating refractive prism for scanning in one direction. Scanning in a direction essentially perpendicular to said direction is slower than in the first mentioned direction and is accomplished by other means, as by a nodding mirror in the collecting optics. Said slower scanning can also be accomplished by tilting the rotating axis of said prism. The resulting scanning pattern is like the pattern of common television.

Said prism can be rotated very rapidly according to our invention and several thousands of scans per second can be accomplished. In this way our invention allows complete scanning of said field of view many times per second exceeding the frame frequency of ordinary motion pictures.

Referring to the drawings the arrangement according to our invention is characterized by an image surface generated inside the circumscribed circle of said prism by a collecting optics **9** in FIGURE 4. Said prism is in our invention of the form of a plane parallel refractive prism, which is in one case **1** shown in FIG. 1. Said

2

prism has in our invention an even number of sides and is rotated about an axis **2** as indicated by the arrow in FIG. 4, that is perpendicular to the paper in FIG. 1. The said collecting optics has an optical axis **4**, that intersects said rotating axis **2** and is perpendicular thereto. The image surface **5** generated by said collecting optical system is situated inside said prism. Just outside the circle **3** generated by said rotating prism and on the optical axis **4** a scanning aperture **6** is located, through which a radiation passes to the radiation energy responsive element **12** such as a photocell, bolometer or the like, depending upon the energy spectrum of interest.

When said prism rotates, the scanning aperture **6** scans a line on said image surface **5** and when a corner of said prism passes the scanning aperture **6** there is a substantially instantaneous return of the scan.

In FIGS. 1 and 4 there is shown an incoming ray of radiation α having a maximum deviation from the direction of the optical axis. In FIG. 1 φ designates the angle of rotation of the prism, and x, y and z are the axes of a coordinate system, x being along the optical axis and z parallel to the axis of rotation **2**. A point on the image surface **5** is defined by these coordinates, as indicated in the case of a point x, y in FIG. 1, the z coordinate of which is 0, since it is in the x, y plane.

The deflection of rays is shown in FIG. 2 in the y direction as a function of the turning angle φ, and index of refraction of said prism n.

The axis y in FIG. 3 refers to the same axis as in FIG. 2. FIG. 3 shows the necessary form (**7** and **8**) of the image surfaces of said optical system in order that said field of view shall be scanned without aberrations for various values of refractive index of said prism. Referring to FIG. 3 there are for every rotating angle φ and every refractive index of said prism n, two values of x. The larger of said two values of x corresponds to the image surface **7**, that is generated by the rays in the plane of the paper i.e. the x, y plane and forming small angles with the x-axis. The smaller value of x corresponds to the image surface **8**, that is generated by the rays, which are parallel with the x-z plane and form small angles with the x-y plane.

It is apparent from FIG. 3 that the aberrations, which are caused by the prism, can be neutralized to a substantial degree by a suitable choice of image surface. In this way it is possible according to our invention to achieve very high resolution in the optical scanning.

It is preferable if the refractive index of said prism has a value between **3** and **6** for the wave lengths used. Said index of refraction having a value of about **4** is specially advantageous both for yielding a linear scan and for allowing a relatively plane image surface. This is pointed out in FIG. 2 and FIG. 3. As is also shown in FIG. 2 a larger index of refraction of said prism gives a greater length of scan.

The material of said prism must in our invention be transparent for radiation in the energy spectrum of interest and it is preferable if the sides of said prism are coated with suitable material in order to reduce reflections.

The entry area of the rays coming from said optical system for varying turning angles φ does not extend near the corners of the prism in our invention which may therefore be rounded. This improves both the air resistance and the mechanical strength of the prism.

When said prism rotates and the scanning in the other direction is accomplished in said collecting optics the radiation energy responsive element **12** scans said field of view for various energy levels in such field. The output signals from said element are amplified and filtered and may be used to modulate the intensity of a moving spot on a cathode ray tube. The movement of said

Abbildung 29.1 Patentschriften aus den frühen 1960er Jahren

Das Unternehmen hat weltweit mehr als 135 832 Infrarotkameras für die verschiedensten Anwendungszwecke verkauft, wie beispielsweise für die vorbeugende Instandhaltung, F & E, zerstörungsfreie Prüfungen, Prozesskontrolle und Automatisierung u. v. m.

FLIR Systems besitzt drei Produktionsstätten in den USA (Portland, Boston und Santa Barbara) und eine in Schweden (Stockholm). Seit dem Jahr 2007 gibt es einen weiteren Produktionsstandort in Tallinn in Estland. Niederlassungen mit Direktvertrieb in Belgien, Brasilien, China, Frankreich, Deutschland, Großbritannien, Hongkong, Italien, Japan, Korea, Schweden und den USA sowie ein weltweites Netzwerk aus Vertretern und Vertriebshändlern sind Ansprechpartner für unsere Kunden aus aller Welt.

FLIR Systems übernimmt eine Vorreiterrolle bei der Entwicklung neuer Infrarottechnologien. Wir greifen der Marktnachfrage vor, indem wir vorhandene Kameras verbessern und neue entwickeln. Das Unternehmen hat bei Produktdesign und Entwicklung stets eine führende Rolle eingenommen, wie beispielsweise bei der Markteinführung der ersten batteriebetriebenen tragbaren Kamera für Industrieüberwachungen und der ersten Infrarotkamera ohne Kühlsystem.

10722703;a2





Abbildung 29.2 LINKS: Modell 661 der Thermovision® aus dem Jahr 1969. Die Kamera wog ca. 25 kg, das Oszilloskop 20 kg und das Stativ 15 kg. Für den Betrieb wurden darüber hinaus ein 220-Volt-Generator und ein 10-Liter-Gefäß mit flüssigem Stickstoff benötigt. Links neben dem Oszilloskop ist der Polaroid-Aufsatz (6 kg) zu erkennen. **RECHTS:** Die FLIR i7 aus dem Jahr 2009. Gewicht: 0,34 kg einschließlich Akku.

FLIR Systems stellt alle zentralen mechanischen und elektronischen Komponenten der Kamerasysteme selbst her. Von Design und Herstellung der Detektoren über Objektive und Systemelektronik bis hin zu Funktionstests und Kalibrierung werden alle Produktionsschritte von unseren Ingenieuren durchgeführt und überwacht. Die genauen Kenntnisse dieses Fachpersonals gewährleisten die Genauigkeit und Zuverlässigkeit aller zentraler Komponenten, aus denen Ihre Infrarotkamera besteht.

29.1 Mehr als nur eine Infrarotkamera

Wir von FLIR Systems haben erkannt, dass es nicht ausreicht, nur die besten Infrarotkameras herzustellen. Wir möchten allen Benutzern unserer Infrarotkameras ein produktiveres Arbeiten ermöglichen, indem wir leistungsfähige Kameras mit entsprechender Software kombinieren. Wir entwickeln Software, die genau auf die Bedürfnisse von F & E, vorbeugender Instandhaltung und Prozessüberwachung zugeschnitten ist. Ein Großteil der Software steht in mehreren Sprachen zur Verfügung.

Wir bieten für alle Infrarotkameras ein umfassendes Sortiment an Zubehörteilen, so dass Sie Ihre Ausrüstung auch an anspruchsvolle Einsätze anpassen können.

29.2 Weitere Informationen

Obwohl sich unsere Kameras durch hohe Benutzerfreundlichkeit auszeichnen, gehört zur Thermografie mehr als nur das Wissen, wie man eine Kamera bedient. Daher hat FLIR Systems das Infrared Training Center (ITC) gegründet, einen eigenständigen Geschäftsbereich, der zertifizierte Schulungen anbietet. Durch die Teilnahme an ITC-Kursen können Sie sich praxisorientiert weiterbilden.

Die Mitglieder des ITC unterstützen Sie auch bei allen Fragen und Problemen, die beim Umsetzen der Theorie in die Praxis auftreten können.

29.3 Support für Kunden

FLIR Systems bietet ein weltweites Service-Netzwerk, um den unterbrechungsfreien Betrieb Ihrer Kamera zu gewährleisten. Bei Problemen mit Ihrer Kamera verfügen die lokalen Service-Zentren über die entsprechende Ausstattung und Erfahrung, um die Probleme innerhalb kürzester Zeit zu lösen. Sie müssen Ihre Kamera also nicht rund um den Globus schicken oder mit einem Mitarbeiter sprechen, der nicht Ihre Sprache spricht.

29.4 Bilder

10401303;a1



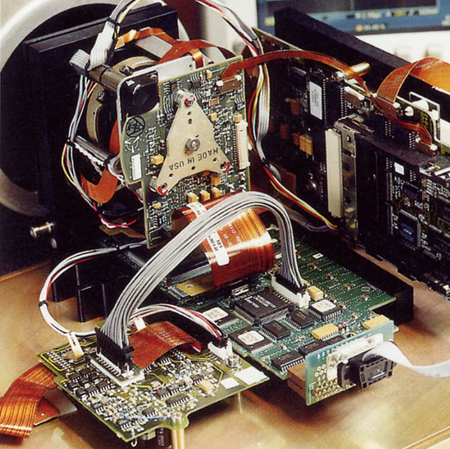


Abbildung 29.3 LINKS: Entwicklung der Systemelektronik **RECHTS:** FPA-Detektortest

10401403;a1





Abbildung 29.4 LINKS: Diamantdrehmaschine **RECHTS:** Schleifen eines Objektivs

10401503;a1





Abbildung 29.5 **LINKS:** Testen von Infrarotkameras in der Klimakammer; **RECHTS:** Roboter zum Testen und Kalibrieren von Kameras

30 Glossar

Begriff oder Ausdruck	Erläuterung
Absorption (Absorptionsgrad)	Das Verhältnis der von einem Objekt absorbierten Strahlung zur auftreffenden Strahlung. Eine Zahl zwischen 0 und 1.
Angenommene Transmission (geschätzte Transmission)	Ein von einem Benutzer angegebener Wert für die Transmission, der einen berechneten Wert ersetzt.
Atmosphäre	Die Gase, die sich zwischen dem Messobjekt und der Kamera befinden, in der Regel handelt es sich um Luft.
Auto. Farben	Das Infrarotbild zeigt eine unregelmäßige Farbverteilung an, mit der kalte und warme Objekte gleichzeitig angezeigt werden.
Automatische Einstellung	Eine Funktion, mit der die Kamera eine interne Bildkorrektur durchführt.
Berechnete Transmission	Ein aus der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und dem Abstand zum Objekt errechneter Wert für die Transmission.
Bildkorrektur (intern/extern)	Eine Funktion zum Ausgleich der unterschiedlichen Empfindlichkeit in verschiedenen Teilen von Live-Bildern sowie zur Stabilisierung der Kamera.
Doppelisotherme	Eine Isotherme mit zwei Farbbändern an Stelle von einem.
Emission (Emissionsgrad)	Die von einem Objekt ausgehende Strahlung im Vergleich zu der eines Schwarzen Körpers. Eine Zahl zwischen 0 und 1.
Externe Optik	Zusätzliche Objektive, Filter, Wärmeschilde usw., die zwischen der Kamera und dem Messobjekt platziert werden können.
Farbtemperatur	Die Temperatur, bei der die Farbe eines Schwarzen Körpers einer bestimmten Farbe entspricht.
Filter	Material, das nur für bestimmte Infrarot-Wellenlängen durchlässig ist.
FPA	Focal Plane Array: Ein Infrarotdetektortyp.
Grauer Körper	Ein Objekt, das einen bestimmten Anteil der Energiemenge eines Schwarzen Körpers für jede Wellenlänge abgibt.
Hohlraumstrahler	Ein flaschenförmiger Strahler mit absorbierenden Innenwänden, der über den "Flaschenhals" einsehbar ist.
IFOV	Momentaner Sehwinkel: Ein Maß für die geometrische Auflösung einer Infrarotkamera.
Infrarot	Unsichtbare Strahlung mit einer Wellenlänge von 2 – 13 μm.
IR	Infrarot

Begriff oder Ausdruck	Erläuterung
Isotherme	Eine Funktion, mit der die Teile eines Bildes hervorgehoben werden, die über, unter oder zwischen einem oder mehreren Temperaturintervallen liegen.
Isothermer Hohlraum	Ein flaschenförmiger Strahler mit einheitlicher Temperatur, der über den "Flaschenhals" einsehbar ist.
Laser LocatIR	Eine elektrische Lichtquelle an der Kamera, die Laserstrahlung in Form eines dünnen, gebündelten Strahls abgibt, der auf bestimmte Teile des Messobjekts vor der Kamera gerichtet ist.
Laserpointer	Eine elektrische Lichtquelle an der Kamera, die Laserstrahlung in Form eines dünnen, gebündelten Strahls abgibt, der auf bestimmte Teile des Messobjekts vor der Kamera gerichtet ist.
Level	Der Zentralwert der Temperaturskala, wird in der Regel als Signalwert ausgedrückt.
Manuelle Einstellung	Eine Methode zur Anpassung des Bildes durch manuelles Ändern bestimmter Parameter.
Messbereich	Der aktuelle Temperaturmessbereich einer Infrarotkamera. Kameras können über mehrere Bereiche verfügen. Sie werden mit Hilfe von zwei Schwarzkörpertemperaturwerten angegeben, die als Grenzwerte für die aktuelle Kalibrierung dienen.
NETD	Rauschäquivalente Temperaturdifferenz. Ein Maß für das Bildrauschen einer Infrarotkamera.
Objektparameter	Eine Reihe von Werten, mit denen die Bedingungen, unter denen die Messungen durchgeführt werden, sowie das Messobjekt selbst beschrieben werden (z. B. Emission, reflektierte scheinbare Temperatur, Abstand).
Objektsignal	Ein unkalibrierter Wert, der sich auf die Strahlungsmenge bezieht, die die Kamera von dem Messobjekt empfängt.
Palette	Die zur Anzeige eines Infrarotbildes verwendeten Farben.
Pixel	Synonym für *Bildelement*. Ein einzelner Bildpunkt in einem Bild.
Rauschen	Unerwünschte geringfügige Störung im Infrarotbild.
Referenztemperatur	Eine Temperatur, mit der die regulären Messwerte verglichen werden können.
Reflexionsgrad (Reflexionsvermögen)	Das Verhältnis der von einem Objekt reflektierten Strahlung zur auftreffenden Strahlung. Eine Zahl zwischen 0 und 1.
Relative Luftfeuchtigkeit	Die relative Luftfeuchtigkeit ist das prozentuale Verhältnis zwischen der momentanen Wasserdampfmasse in der Luft und der maximalen Masse, die unter Sättigungsbedingungen enthalten sein kann.

Begriff oder Ausdruck	Erläuterung
Sättigungsfarbe	Bereiche, deren Temperaturen außerhalb der aktuellen Einstellungen für Level/Span liegen, werden mit den Sättigungsfarben dargestellt. Die Sättigungsfarben umfassen eine Farbe für die Überschreitung und eine für die Unterschreitung der Werte. Hinzu kommt eine dritte Sättigungsfarbe (Rot), die den gesamten Sättigungsbereich markiert und darauf hinweist, dass der Bereich wahrscheinlich geändert werden sollte.
Schwarzer Körper	Objekt mit einem Reflexionsgrad von Null. Jegliche Strahlung ist auf seine eigene Temperatur zurückzuführen.
Schwarzkörper-Strahler	Ein Infrarotstrahler mit den Eigenschaften eines Schwarzen Körpers, der zum Kalibrieren von Infrarotkameras eingesetzt wird.
Sichtfeld	Sehwinkel (Field of view): Der horizontale Betrachtungswinkel eines Infrarotobjektivs.
Span	Das Intervall der Temperaturskala, wird in der Regel als Signalwert ausgedrückt.
Spektrale spezifische Ausstrahlung	Von einem Objekt abgegebene Energiemenge bezogen auf Zeit, Fläche und Wellenlänge ($W/m^2/\mu m$).
Spezifische Ausstrahlung	Von einem Objekt abgegebene Energiemenge pro Zeit- und Flächeneinheit (W/m^2).
Strahler	Ein Infrarotstrahler.
Strahlung	Von einem Objekt abgegebene Energiemenge bezogen auf Zeit, Fläche und Raumwinkel ($W/m^2/sr$).
Strahlung	Vorgang, bei dem elektromagnetische Energie durch einen Festkörper oder ein Gas abgegeben wird.
Strahlungsfluss	Von einem Objekt abgegebene Energiemenge pro Zeiteinheit (W).
Stufenlose Anpassung	Eine Funktion, über die das Bild eingestellt wird. Diese Funktion passt die Helligkeit und den Kontrast fortlaufend dem Bildinhalt entsprechend an.
Tageslicht	Bezeichnet den Videomodus einer Infrarotkamera im Gegensatz zum normalen thermografischen Modus. Im Videomodus zeichnet die Kamera herkömmliche Videobilder auf, während sie im Infrarotmodus Wärmebilder aufzeichnet.
Temperaturdifferenz	Ein Wert, der durch die Subtraktion zweier Temperaturwerte berechnet wird.

Publ. No. T559651 Rev. a540 – GERMAN (DE) – May 25, 2011

Begriff oder Ausdruck	Erläuterung
Temperaturmessbereich	Der aktuelle Temperaturmessbereich einer Infrarotkamera. Kameras können über mehrere Bereiche verfügen. Sie werden mit Hilfe von zwei Schwarzkörpertemperaturwerten angegeben, die als Grenzwerte für die aktuelle Kalibrierung dienen.
Temperaturskala	Die aktuelle Anzeigeart eines Infrarotbildes. Wird mit Hilfe von zwei Temperaturwerten angegeben, die die Farben abgrenzen.
Thermogramm	Ein Infrarotbild.
Transmission (Transmissionsgrad)	Gase und Festkörper sind verschieden durchlässig. Die Transmission gibt die Menge der Infrarotstrahlung an, die sie durchlassen. Eine Zahl zwischen 0 und 1.
Transparente Isotherme	Eine Isotherme, bei der an Stelle der hervorgehobenen Teile des Bildes eine lineare Farbverteilung angezeigt wird.
Umgebung	Objekte und Gase, die Strahlung an das Messobjekt abgeben.
Wärmeleitung	Der Vorgang, bei dem sich Wärme in einem Material ausbreitet.
Wärmeübergang (Konvektion)	Konvektion ist ein Wärmeübergangsmodus, bei dem eine Flüssigkeit durch Gravität oder eine andere Kraft in Bewegung gebracht wird und so Wärme von einem Ort auf den anderen überträgt.

31 Thermografische Messtechniken

31.1 *Einleitung*

Eine Infrarotkamera misst die von einem Objekt abgegebene Infrarotstrahlung und bildet sie ab. Da die Infrarotstrahlung eine Funktion der Oberflächentemperatur eines Objekts ist, kann die Kamera diese Temperatur berechnen und darstellen.

Die von der Kamera gemessene Strahlung hängt jedoch nicht nur von der Temperatur des Objekts, sondern auch vom Emissionsgrad ab. Auch aus der Umgebung des Objekts stammt Strahlung, die im Objekt reflektiert wird. Die Strahlung des Objekts und die reflektierte Strahlung werden auch von der Absorption der Atmosphäre beeinflusst.

Um Temperaturen messen zu können, müssen die Auswirkungen verschiedener Strahlungsquellen kompensiert werden. Dies wird von der Kamera automatisch durchgeführt. Der Kamera müssen jedoch die folgenden Objektparameter übermittelt werden:

- Der Emissionsgrad des Objekts
- Die reflektierte scheinbare Temperatur
- Der Abstand zwischen Objekt und Kamera
- Die relative Luftfeuchtigkeit
- Die Atmosphärentemperatur

31.2 *Emissionsgrad*

Der Objektparameter, bei dem eine richtige Einstellung am wichtigsten ist, ist der Emissionsgrad. Dieser Wert gibt an, wie viel Strahlung das Objekt im Vergleich zu einem völlig schwarzen Objekt abgibt.

In der Regel gelten für Objektwerkstoffe und Oberflächenbeschichtungen Emissionsgrade von etwa 0,1 bis 0,95. Der Emissionsgrad einer hochpolierten Oberfläche (Spiegel) liegt unter 0,1, während eine oxidierte oder gestrichene Oberfläche einen höheren Emissionsgrad aufweist. Ölfarbe hat unabhängig von der Farbe im sichtbaren Spektrum im Infrarotbereich einen Emissionsgrad von über 0,9. Der Emissionsgrad der menschlichen Haut liegt zwischen 0,97 und 0,98.

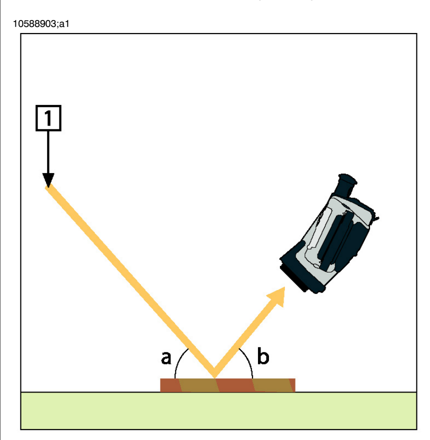
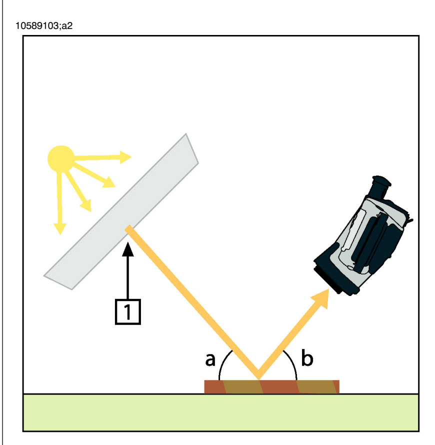
Nicht oxidierte Metalle stellen einen Extremfall für perfekte Opazität und hohe Reflexivität dar, die sich mit der Wellenlänge kaum verändert. Daher ist der Emissionsgrad von Metallen niedrig und steigt lediglich mit der Temperatur an. Bei Nichtmetallen ist der Emissionsgrad im Allgemeinen höher und nimmt mit sinkender Temperatur ab.

31.2.1 Ermitteln des Emissionsgrades eines Objekts

31.2.1.1 Schritt 1: Bestimmen der reflektierten Strahlungstemperatur

Die reflektierte scheinbare Temperatur können Sie mit einer der folgenden Methoden bestimmen:

31.2.1.1.1 Methode 1: Direkte Methode

1	Suchen Sie nach möglichen Reflektionsquellen und beachten Sie hierbei Folgendes: Einfallswinkel = Reflektionswinkel (a = b). 10588903;a1  **Abbildung 31.1** 1 = Reflektionsquelle
2	Wenn es sich bei der Reflektionsquelle um einen Punkt handelt, verdecken Sie sie mit einem Stück Karton. 10589103;a2  **Abbildung 31.2** 1 = Reflektionsquelle

3	Messen Sie die Intensität der von der Reflektionsquelle ausgehenden Strahlung (= scheinbare Temperatur) unter Verwendung der folgenden Einstellungen: ■ Emissionsgrad: 1,0 ■ D_{obj}: 0 Sie können die Intensität der Strahlung mit einer der folgenden beiden Methoden ermitteln: 10589003;a2 **Abbildung 31.3** 1 = Reflektionsquelle

Hinweis: Von der Verwendung eines Thermoelements zur Ermittlung der reflektierten scheinbaren Temperatur wird abgeraten. Dies hat zwei wichtige Gründe:

- Ein Thermoelement misst nicht die Strahlungsintensität.
- Die Verwendung eines Thermoelements erfordert einen sehr guten thermischen Oberflächenkontakt. Dies wird in der Regel durch Kleben und Abdecken des Sensors mit einem thermischen Isolator erzielt.

31.2.1.1.2 Methode 2: Reflektormethode

1	Knüllen Sie ein großes Stück Aluminiumfolie zusammen.
2	Streichen Sie die Aluminiumfolie wieder glatt und befestigen Sie sie an einem Stück Karton mit derselben Größe.
3	Platzieren Sie den Karton vor dem Objekt, an dem Sie die Messung durchführen möchten. Die Seite, an der die Aluminiumfolie befestigt ist, muss zur Kamera zeigen.
4	Stellen Sie als Emissionsgrad 1,0 ein.

5	Messen Sie die scheinbare Temperatur der Aluminiumfolie und notieren Sie sie. 10727003;a2 **Abbildung 31.4** Messen der scheinbaren Temperatur der Aluminiumfolie

31.2.1.2 Schritt 2: Ermitteln des Emissionsgrades

1	Wählen Sie die Stelle aus, an der das Messobjekt platziert werden soll.
2	Ermitteln Sie die reflektierte Strahlungstemperatur und stellen Sie sie ein. Gehen Sie hierbei wie oben angegeben vor.
3	Kleben Sie ein Stück Isolierband mit bekanntem, hohem Emissionsgrad auf das Objekt.
4	Erwärmen Sie das Objekt auf mindestens 20 K über Raumtemperatur. Die Erwärmung muss gleichmäßig erfolgen.
5	Stellen Sie den Fokus ein, verwenden Sie die automatische Abgleichfunktion der Kamera und erzeugen Sie ein Standbild.
6	Stellen Sie **Level** und **Span** ein, um optimale Bildhelligkeit und Kontrast zu erzielen.
7	Stellen Sie den Emissionsgrad des Isolierbandes ein (in der Regel 0,97).
8	Messen Sie die Temperatur des Bandes mit Hilfe einer der folgenden Messfunktionen: ■ **Isotherme** (Hiermit können Sie feststellen, wie hoch die Temperatur ist und wie gleichmäßig das Messobjekt erwärmt wurde.) ■ **Messpunkt** (einfacher) ■ **Rechteck Mitte** (besonders geeignet für Oberflächen mit variierendem Emissionsgrad).
9	Notieren Sie die Temperatur.
10	Verschieben Sie Ihre Messfunktion zur Objektoberfläche.
11	Ändern Sie die Emissionsgradeinstellung, bis Sie dieselbe Temperatur wie bei Ihrer letzten Messung ablesen.
12	Notieren Sie den Emissionsgrad.

Hinweis:

- Vermeiden Sie eine erzwungene Konvektion.
- Suchen Sie nach einer Umgebung mit stabiler Temperatur, in der keine punktförmigen Reflektionen entstehen können.
- Verwenden Sie hochwertiges, nicht transparentes Band mit einem bekannten, hohen Emissionsgrad.
- Bei dieser Methode wird davon ausgegangen, dass die Temperatur des Bandes und die der Objektoberfläche gleich sind. Ist dies nicht der Fall, liefert Ihre Emissionsgradmessung falsche Ergebnisse.

31.3 Reflektierte scheinbare Temperatur

Dieser Parameter dient als Ausgleich für die Strahlung, die im Objekt reflektiert wird. Wenn der Emissionsgrad niedrig ist und die Objekttemperatur sich relativ stark von der reflektierten Temperatur unterscheidet, muss die reflektierte scheinbare Temperatur unbedingt korrekt eingestellt und kompensiert werden.

31.4 Abstand

Der Abstand ist die Entfernung zwischen dem Objekt und der Vorderseite des Kameraobjektivs. Dieser Parameter dient zur Kompensation folgender Gegebenheiten:

- Die vom Messobjekt abgegebene Strahlung wird von der Atmosphäre zwischen Objekt und Kamera absorbiert.
- Die Atmosphärenstrahlung an sich wird von der Kamera erkannt.

31.5 Relative Luftfeuchtigkeit

Die Kamera kann auch die Tatsache kompensieren, dass die Übertragung zudem von der relativen Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre abhängt. Dazu stellen Sie die relative Luftfeuchtigkeit auf den richtigen Wert ein. Für kurze Abstände und normale Luftfeuchtigkeit können Sie für die relative Luftfeuchtigkeit normalerweise den Standardwert von 50 % beibehalten.

31.6 Weitere Parameter

Darüber hinaus können Sie mit einigen Kameras und Analyseprogrammen von FLIR Systems folgende Parameter kompensieren:

- Atmosphärentemperatur, *d. h.* die Temperatur der Atmosphäre zwischen Kamera und Ziel.
- Temperatur externe Optik, *d. h.* die Temperatur der vor der Kamera verwendeten externen Objektive und Fenster.
- Transmission von externer Optik – *d. h.* die Übertragung von externen Objektiven oder Fenstern, die vor der Kamera verwendet werden.

32 Geschichte der Infrarot-Technologie

Vor nicht ganz 200 Jahren war der infrarote Teil des elektromagnetischen Spektrums noch gänzlich unbekannt. Die ursprüngliche Bedeutung des infraroten Spektrums, auch häufig als Infrarot bezeichnet, als Form der Wärmestrahlung war zur Zeit seiner Entdeckung durch Herschel im Jahr 1800 möglicherweise augenfälliger als heute.

10398703;a1

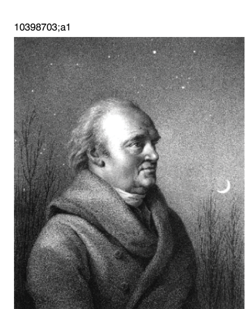


Abbildung 32.1 Sir William Herschel (1738 – 1822)

Die Entdeckung war ein Zufall während der Suche nach einem neuen optischen Material. Sir William Herschel, Hofastronom bei König Georg III von England und bereits auf Grund seiner Entdeckung des Planeten Uranus berühmt, suchte nach einem optischen Filtermaterial zur Reduzierung der Helligkeit des Sonnenabbilds in Teleskopen bei Beobachtungen der Sonne. Beim Testen verschiedener Proben aus farbigem Glas, bei denen die Reduzierung der Helligkeit ähnlich war, fand er heraus, dass einige Proben sehr wenig, andere allerdings so viel Sonnenwärme durchließen, dass er bereits nach wenigen Sekunden der Beobachtung eine Augenschädigung riskierte.

Sehr bald war Herschel von der Notwendigkeit eines systematischen Experiments überzeugt. Dabei setzte er sich das Ziel ein Material zu finden, mit dem sowohl die gewünschte Reduzierung der Helligkeit als auch die maximale Verringerung der Wärme erzielt werden konnte. Er begann sein Experiment mit der Wiederholung des Prismenexperiments von Newton, achtete dabei jedoch mehr auf den Wärmeeffekt als auf die visuelle Verteilung der Intensität im Spektrum. Zuerst färbte er die Spitze eines empfindlichen Quecksilberthermometers mit schwarzer Tinte und testete damit als Messeinrichtung die Erwärmung der verschiedenen Farben des Spektrums, die sich auf einem Tisch bildeten, indem Sonnenlicht durch ein Glasprisma geleitet wurde. Andere Thermometer, die sich außerhalb der Sonneneinstrahlung befanden, dienten zur Kontrolle.

Beim langsamen Bewegen des schwarz gefärbten Thermometers durch die Farben des Spektrums zeigte sich, dass die Temperatur von Violett nach Rot kontinuierlich anstieg. Dies war nicht ganz unerwartet, da der italienische Forscher Landriani in einem ähnlichen Experiment im Jahr 1777 den gleichen Effekt beobachtet hatte. Herschel erkannte jedoch als erster, dass es einen Punkt geben muss, an dem die Erwärmung einen Höhepunkt erreicht, und dass bei Messungen am sichtbaren Teil des Spektrums dieser Punkt nicht gefunden wurde.

10398903;a1



Abbildung 32.2 Marsilio Landriani (1746 – 1815)

Durch das Bewegen des Thermometers in den dunklen Bereich hinter dem roten Ende des Spektrums bestätigte Herschel, dass die Erwärmung weiter zunahm. Er fand den Punkt der maximalen Erwärmung schließlich weit hinter dem roten Bereich. Heute wird dieser Bereich "infrarote Wellenlänge" genannt.

Herschel bezeichnete diesen neuen Teil des elektromagnetischen Spektrums als "thermometrisches Spektrum". Die Abstrahlung selbst nannte er manchmal "dunkle Wärme" oder einfach "die unsichtbaren Strahlen". Entgegen der vorherrschenden Meinung stammt der Begriff "infrarot" nicht von Herschel. Dieser Begriff tauchte gedruckt etwa 75 Jahre später auf, und es ist immer noch unklar, wer ihn überhaupt einführte.

Die Verwendung von Glas in den Prismen bei Herschels ursprünglichem Experiment führte zu einigen kontroversen Diskussionen mit seinen Zeitgenossen über die tatsächliche Existenz der infraroten Wellenlängen. Bei dem Versuch, seine Arbeit zu bestätigen, verwendeten verschiedene Forscher wahllos unterschiedliche Glasarten, was zu unterschiedlichen Lichtdurchlässigkeiten im Infrarotbereich führte. Durch seine späteren Experimente war sich Herschel der begrenzten Lichtdurchlässigkeit von Glas bezüglich der neu entdeckten thermischen Abstrahlung bewusst und schloss daraus, dass optische Systeme, die den Infrarotbereich nutzen wollten, ausschließlich reflektive Elemente (d. h. ebene und gekrümmte Spiegel) verwenden konnten. Glücklicherweise galt dies nur bis 1830, als der italienische Forscher Melloni entdeckte, dass natürliches Steinsalz (NaCl), das in großen natürlichen Kristallen zur Verwendung

in Linsen und Prismen vorhanden war, äußerst durchlässig für den Infrarotbereich ist. Nach dieser Entdeckung wurde Steinsalz für die nächsten hundert Jahre das optische Hauptmaterial für Infrarot, bis in den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts Kristalle synthetisch gezüchtet werden konnten.

10399103;a1



Abbildung 32.3 Macedonio Melloni (1798 – 1854)

Bis 1829 wurden ausschließlich Thermometer zum Messen der Abstrahlung verwendet. In diesem Jahr erfand Nobili das Thermoelement. (Das Thermometer von Herschel hatte einen Messbereich bis 0,2 °C (0,036 °F), spätere Modelle konnten bis 0,05 °C (0,09 °F) messen.) Melloni gelang ein Durchbruch, als er mehrere Thermoelemente in Serie schaltete und so die erste Thermosäule schuf. Das neue Gerät konnte Wärmeabstrahlung mindestens 40-mal empfindlicher messen als das beste zu dieser Zeit vorhandene Thermometer. So konnte es beispielsweise die Wärme einer drei Meter entfernten Person messen.

Das erste sogenannte "Wärmebild" wurde 1840 möglich, als Ergebnis der Arbeit von Sir John Herschel, Sohn des Entdeckers des Infrarotbereichs und selbst berühmter Astronom. Basierend auf der unterschiedlichen Verdampfung eines dünnen Ölfilms, wenn dieser einem Wärmemuster ausgesetzt wird, wurde das thermische Bild durch Licht, das sich auf dem Ölfilm unterschiedlich spiegelt, für das Auge sichtbar. Sir John gelang es auch, einen einfachen Abzug eines thermischen Bildes auf Papier zu erhalten, der "Thermograph" genannt wurde.

10399003;a2



Abbildung 32.4 Samuel P. Langley (1834 – 1906)

Nach und nach wurde die Empfindlichkeit der Infrarotdetektoren verbessert. Ein weiterer Durchbruch gelang Langley im Jahr 1880 mit der Erfindung des Bolometers. Es handelte sich dabei um einen dünnen geschwärzten Platinstreifen, der in einem Arm einer Wheatstone-Brückenschaltung angeschlossen war und der infraroten Strahlung ausgesetzt sowie an ein empfindliches Galvanometer gekoppelt wurde. Damit konnte angeblich die Wärme einer Kuh gemessen werden, die 400 Meter entfernt war.

Ein englischer Wissenschaftler, Sir James Dewar, war der Erste, der bei Forschungen mit niedrigen Temperaturen flüssige Gase als Kühlmittel verwendete (wie beispielsweise flüssigen Stickstoff mit einer Temperatur von -196 °C). 1892 erfand er einen einzigartigen isolierenden Vakuumbehälter, in dem flüssige Gase tagelang aufbewahrt werden konnten. Die herkömmliche Thermosflasche zur Aufbewahrung heißer und kalter Getränke beruht auf dieser Erfindung.

Zwischen 1900 und 1920 "entdeckten" die Erfinder in aller Welt den Infrarotbereich. Viele Geräte zum Erkennen von Personen, Artillerie, Flugzeugen, Schiffen und sogar Eisbergen wurden patentiert. Die ersten modernen Überwachungssysteme wurden im Ersten Weltkrieg entwickelt, als beide Seiten Programme zur Erforschung des militärischen Nutzens von Infrarotstrahlung durchführten. Dazu gehörten experimentelle Systeme in Bezug auf das Eindringen/Entdecken von Feinden, die Messung von Temperaturen über große Entfernungen, sichere Kommunikation und die Lenkung "fliegender Torpedos". Ein Infrarotsuchsystem, das in dieser Zeit getestet wurde, konnte ein Flugzeug im Anflug in einer Entfernung von 1,5 km oder eine Person, die mehr als 300 Meter entfernt war, erkennen.

Die empfindlichsten Systeme dieser Zeit beruhten alle auf Variationen der Bolometer-Idee. Zwischen den beiden Weltkriegen wurden jedoch zwei neue, revolutionäre Infrarotdetektoren entwickelt: der Bildwandler und der Photonendetektor. Zunächst schenkte das Militär dem Bildwandler die größte Aufmerksamkeit, da der Beobachter

mit diesem Gerät zum ersten Mal in der Geschichte im Dunkeln sehen konnte. Die Empfindlichkeit des Bildwandlers war jedoch auf die Nah-Infrarot-Wellenlängen beschränkt und die interessantesten militärischen Ziele (z. B. feindliche Soldaten) mussten mit Infrarot-Suchstrahlern ausgeleuchtet werden. Da hierbei das Risiko bestand, dass ein feindlicher Beobachter mit ähnlicher Ausrüstung die Position des Beobachters herausfand, schwand das militärische Interesse am Bildwandler.

Die taktischen militärischen Nachteile sogenannter aktiver (d. h. mit Suchstrahlern ausgestatteter) thermografischer Systeme gaben nach dem zweiten Weltkrieg den Anstoß zu umfangreichen geheimen Infrarot-Forschungsprogrammen des Militärs, wobei die Möglichkeiten "passiver" Systeme (ohne Suchstrahler) auf Grundlage des äußerst empfindlichen Photonendetektors erforscht wurden. In dieser Zeit wurde der Status der Infrarot-Technologie auf Grund von Geheimhaltungsvorschriften des Militärs nicht öffentlich bekannt gegeben. Erst Mitte der fünfziger Jahre wurde die Geheimhaltungspflicht gelockert und seitdem sind angemessene thermografische Geräte auch für die zivile Forschung und Industrie erhältlich.

33 Theorie der Thermografie

33.1 *Einleitung*

Das Gebiet der Infrarotstrahlung und die damit zusammenhängende Technik der Thermografie ist vielen Benutzern einer Infrarotkamera noch nicht vertraut. In diesem Abschnitt wird die der Thermografie zugrunde liegende Theorie behandelt.

33.2 *Das elektromagnetische Spektrum*

Das elektromagnetische Spektrum ist willkürlich in verschiedene Wellenlängenbereiche unterteilt, die als *Bänder* bezeichnet werden und sich jeweils durch die Methode zum Erzeugen und Messen von Strahlung unterscheiden. Es gibt keinen grundlegenden Unterschied zwischen der Strahlung in den verschiedenen Bändern des elektromagnetischen Spektrums. Für sie gelten dieselben Gesetze und die einzigen Unterschiede beruhen auf Unterschieden in der Wellenlänge.

10067803;a1

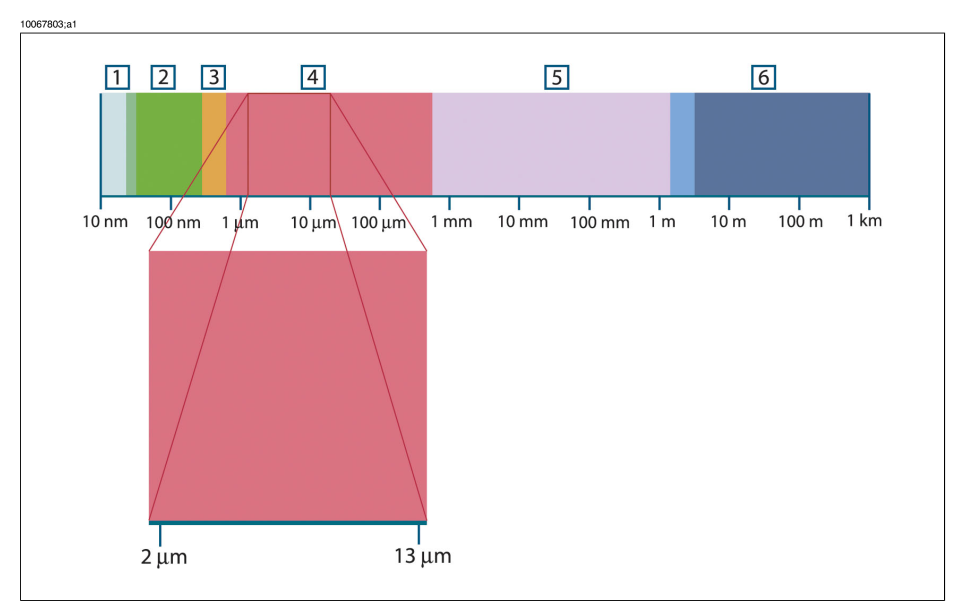


Abbildung 33.1 Das elektromagnetische Spektrum. **1:** Röntgenstrahlen; **2:** UV-Strahlung; **3:** Sichtbares Licht; **4:** IR-Strahlung; **5:** Mikrowellen; **6:** Radiowellen

Die Thermografie nutzt das Infrarotspektralband aus. Am kurzwelligen Ende des Spektrums grenzt sie an das sichtbare Licht, bei Dunkelrot. Am langwelligen Ende des Spektrums geht sie in die Mikrowellen (Millimeterbereich) über.

Das Infrarotband ist weiter untergliedert in vier kleinere Bänder, deren Grenzen ebenfalls willkürlich gewählt sind. Sie umfassen: das *nahe Infrarot (NIR)* (0,75 – 3 µm), das *mittlere Infrarot (MIR)* (3 – 6 µm), das *ferne Infrarot (FIR)* (6 – 15 µm) und das *extreme Infrarot* (15 – 100 µm). Zwar sind die Wellenlängen in µm (Mikrometern) angegeben, doch werden zum Messen der Wellenlänge in diesem Spektralbereich oft noch andere Einheiten verwendet, *z. B.* Nanometer (nm) und Ångström (Å).

Das Verhältnis zwischen den verschiedenen Wellenlängenmaßeinheiten lautet wie folgt:

$$10\ 000\ \text{Å} = 1\ 000\ \text{nm} = 1\ \mu = 1\ \mu\text{m}$$

33.3 Strahlung des schwarzen Körpers

Ein schwarzer Körper ist definiert als ein Objekt, das jegliche einfallende Strahlung aller Wellenlängen absorbiert. Die offensichtlich falsche Bezeichnung *schwarz* im Zusammenhang mit einem Objekt, das Strahlung aussendet, wird durch das kirchhoffsche Gesetz (nach *Gustav Robert Kirchhoff*, 1824 – 1887) erklärt, das besagt, dass ein Körper, der in der Lage ist, die gesamte Strahlung beliebiger Wellenlängen zu absorbieren, ebenso in der Lage ist, Strahlung abzugeben.

10398803;a1

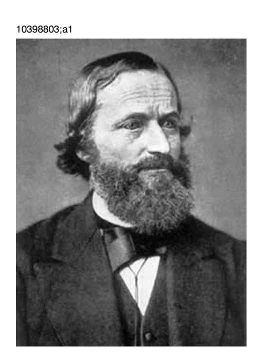


Abbildung 33.2 Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887)

Der Aufbau eines schwarzen Körpers ist im Prinzip sehr einfach. Die Strahlungseigenschaften einer Öffnung in einem isothermen Behälter, die aus einem undurchsichtigen absorbierenden Material besteht, repräsentieren fast genau die Eigenschaften eines schwarzen Körpers. Eine praktische Anwendung des Prinzips auf die Konstruktion eines perfekten Strahlungsabsorbers besteht in einem Kasten, der mit Ausnahme einer Öffnung an einer Seite lichtundurchlässig ist. Jede Strahlung, die in das Loch gelangt, wird gestreut und durch wiederholte Reflexionen absorbiert, so dass nur ein unendlich kleiner Bruchteil entweichen kann. Die Schwärze, die an der Öffnung erzielt wird, entspricht fast einem schwarzen Körper und ist für alle Wellenlängen nahezu perfekt.

Durch Ergänzen eines solchen isothermen Behälters mit einer geeigneten Heizquelle erhält man einen so genannten *Hohlraumstrahler*. Ein auf eine gleichmäßige Temperatur aufgeheizter isothermer Kasten erzeugt die Strahlung eines schwarzen Körpers. Dessen Eigenschaften werden allein durch die Temperatur der Aushöhlung bestimmt. Solche Hohlraumstrahler werden gemeinhin als Strahlungsquellen in Temperaturreferenzstandards in Labors zur Kalibrierung thermografischer Instrumente, z. B. der FLIR Systems-Kamera, verwendet.

Wenn die Temperatur der Strahlung des schwarzen Körpers auf über 525 °C steigt, wird die Quelle langsam sichtbar, so dass sie für das Auge nicht mehr schwarz erscheint. Dies ist die beginnende Rottemperatur der Strahlungsquelle, die dann bei weiterer Temperaturerhöhung orange oder gelb wird. Tatsächlich ist die sogenannte *Farbtemperatur* eines Objekts als die Temperatur definiert, auf die ein schwarzer Körper erhitzt werden müsste, um dasselbe Aussehen zu erzeugen.

Im Folgenden finden Sie drei Ausdrücke, mit denen die von einem schwarzen Körper abgegebene Strahlung beschrieben wird.

33.3.1 Plancksches Gesetz

10399203;a1



Abbildung 33.3 Max Planck (1858 – 1947)

Max Planck (1858 – 1947) konnte die spektrale Verteilung der Strahlung eines schwarzen Körpers mit Hilfe der folgenden Formel darstellen:

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{hc/\lambda kT} - 1\right)} \times 10^{-6} [Watt / m^2, \mu m]$$

Es gilt:

$W_{\lambda b}$	Spektrale Abstrahlung des schwarzen Körpers bei Wellenlänge λ

c	Lichtgeschwindigkeit = 3×10^8 m/s
h	Plancksche Konstante = $6{,}6 \times 10^{-34}$ Joule Sek
k	Boltzmannsche Konstante = $1{,}4 \times 10^{-23}$ Joule/K
T	Absolute Temperatur (K) eines schwarzen Körpers
λ	Wellenlänge (µm)

➲ Der Faktor 10^{-6} wird verwendet, da die Spektralstrahlung in den Kurven in Watt/m², µm angegeben wird.

Die plancksche Formel erzeugt eine Reihe von Kurven, wenn sie für verschiedene Temperaturen dargestellt wird. Auf jeder planckschen Kurve ist die Spektralstrahlung Null bei $\lambda = 0$ und steigt dann bei einer Wellenlänge von λ_{max} rasch auf ein Maximum an und nähert sich nach Überschreiten bei sehr langen Wellenlängen wieder Null an. Je höher die Temperatur, desto kürzer ist die Wellenlänge, bei der das Maximum auftritt.

10327103;a4

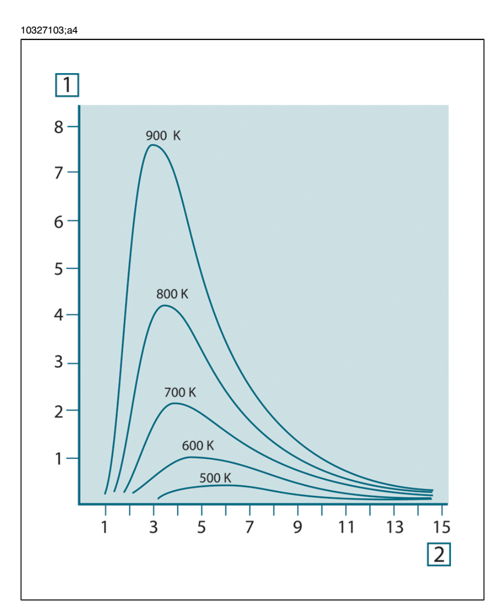


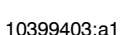
Abbildung 33.4 Die spektrale Abstrahlung eines schwarzen Körpers gemäß dem planckschen Gesetz, für verschiedene absolute Temperaturen dargestellt. **1:** Spektrale Abstrahlung (W/cm² × 10³(µm)); **2:** Wellenlänge (µm)

33.3.2 Wiensches Verschiebungsgesetz

Durch Ableitung der planckschen Formel nach λ und Ermittlung des Maximums erhalten wir:

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}[\mu m]$$

Dies ist die wiensche Funktion (benannt nach *Wilhelm Wien*, 1864 – 1928), die mathematisch darstellt, dass mit zunehmender Temperatur des thermischen Strahlers die Farben von Rot in Orange oder Gelb übergehen. Die Wellenlänge der Farbe ist identisch mit der für λ_{max} berechneten Wellenlänge. Eine gute Näherung für den Wert von λ_{max} für einen gegebenen schwarzen Körper wird erzielt, indem die Faustregel 3000/T µm angewendet wird. So strahlt ein sehr heißer Stern, z. B. Sirius (11000 K), der bläulich weißes Licht abgibt, mit einem Spitzenwert der spektralen Abstrahlung, die innerhalb des unsichtbaren ultravioletten Spektrums bei der Wellenlänge 0,27 µm auftritt.


10399403;a1

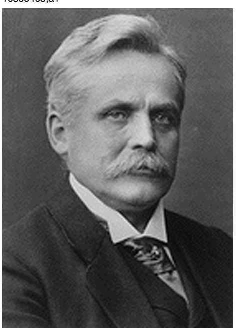


Abbildung 33.5 Wilhelm Wien (1864 – 1928)

Die Sonne (ca. 6000 K) strahlt gelbes Licht aus. Der Spitzenwert liegt in der Mitte des sichtbaren Lichtspektrums bei etwa 0,5 µm.

Bei Raumtemperatur (300 K) liegt der Spitzenwert der Abstrahlung bei 9,7 µm im fernen Infrarotbereich, während bei der Temperatur von flüssigem Stickstoff (77 K) das Maximum einer beinahe zu vernachlässigenden Abstrahlung bei 38 µm liegt – extreme Infrarot-Wellenlängen.

10327203;a4

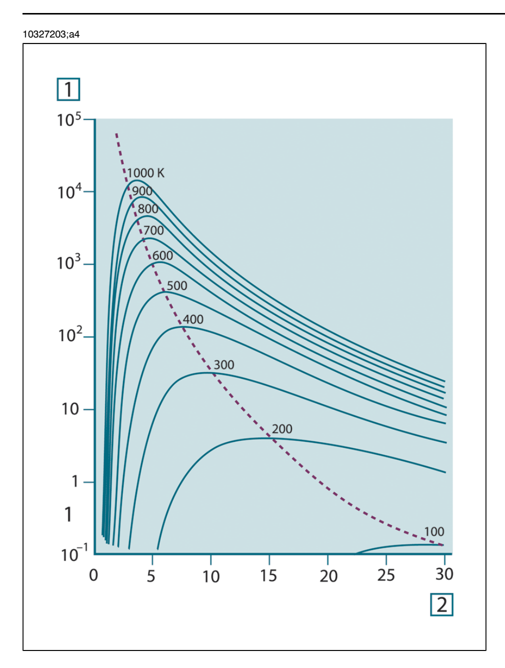


Abbildung 33.6 Plancksche Kurven auf halb-logarithmischen Skalen von 100 K bis 1000 K. Die gepunktete Linie stellt den Ort der maximalen Abstrahlung bei den einzelnen Temperaturen dar, wie sie vom wienschen Verschiebungsgesetz beschrieben wird. **1:** Spektrale Abstrahlung (W/cm² (µm)); **2:** Wellenlänge (µm).

33.3.3 Stefan-Boltzmann-Gesetz

Durch Integration der planckschen Funktion von λ = 0 bis λ = ∞ erhält man die gesamte abgegebene Strahlung eines schwarzen Körpers (W_b):

$$W_b = \sigma T^4 \ [\mathrm{Watt/m^2}]$$

Das Stefan-Boltzmann-Gesetz (nach *Josef Stefan*, 1835 – 1893, und *Ludwig Boltzmann*, 1844 – 1906) besagt, dass die gesamte emittierte Energie eines schwarzen Körpers proportional zur vierten Potenz seiner absoluten Temperatur steigt. Grafisch stellt W_b die Fläche unterhalb der planckschen Kurve für eine bestimmte Temperatur dar. Die emittierte Strahlung im Intervall λ = 0 bis λ_{max} beträgt demnach nur 25 % der Gesamtstrahlung. Dies entspricht etwa der Strahlung der Sonne, die innerhalb des sichtbaren Spektralbereichs liegt.

10399303;a1




Abbildung 33.7 Josef Stefan (1835 – 1893) und Ludwig Boltzmann (1844 – 1906)

Wenn wir die Stefan-Boltzmann-Formel zur Berechnung der von einem menschlichen Körper ausgestrahlten Leistung bei einer Temperatur von 300 K und einer externen Oberfläche von ca. 2 m^2 verwenden, erhalten wir 1 kW. Dieser Leistungsverlust ist nur erträglich auf Grund von kompensierender Absorption der Strahlung durch Umgebungsflächen, von Raumtemperaturen, die nicht zu sehr von der Körpertemperatur abweichen, oder natürlich durch Tragen von Kleidung.

33.3.4 Nicht-schwarze Körper als Strahlungsquellen

Bisher wurden nur schwarze Körper als Strahlungsquellen und die Strahlung schwarzer Körper behandelt. Reale Objekte erfüllen diese Gesetze selten über einen größeren Wellenlängenbereich, obwohl sie sich in bestimmten Spektralbereichen dem Verhalten der schwarzen Körper annähern mögen. So erscheint beispielsweise eine bestimmte Sorte von weißer Farbe im sichtbaren Bereich perfekt *weiß*, wird jedoch bei 2 µm deutlich *grau* und ab 3 µm sieht sie fast *schwarz* aus.

Es gibt drei Situationen, die verhindern können, dass sich ein reales Objekt wie ein schwarzer Körper verhält: Ein Bruchteil der auftretenden Strahlung α wird absorbiert, ein Bruchteil von ρ wird reflektiert und ein Bruchteil von τ wird übertragen. Da alle diese Faktoren mehr oder weniger abhängig von der Wellenlänge sind, wird der Index λ verwendet, um auf die spektrale Abhängigkeit ihrer Definitionen hinzuweisen. Daher gilt:

- Die spektrale Absorptionsfähigkeit α_λ = Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung, die von einem Objekt absorbiert wird, zum Strahlungseinfall.
- Die spektrale Reflektionsfähigkeit ρ_λ = Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung, die von einem Objekt reflektiert wird, zum Strahlungseinfall.
- Der spektrale Transmissionsgrad τ_λ = Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung, die durch ein Objekt übertragen wird, zum Strahlungseinfall.

Die Summe dieser drei Faktoren muss für jede Wellenlänge immer den Gesamtwert ergeben. Daher gilt folgende Beziehung:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

Für undurchsichtige Materialien ist $\tau_\lambda = 0$. Die Beziehung vereinfacht sich zu:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Ein weiterer Faktor, Emissionsgrad genannt, ist zur Beschreibung des Bruchteils ε der Abstrahlung eines schwarzen Körpers, die von einem Objekt bei einer bestimmten Temperatur erzeugt wird, erforderlich. So gilt folgende Definition:

Der spektrale Emissionsgrad ε_λ = Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung eines Objekts zu der spektralen Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers mit derselben Temperatur und Wellenlänge.

Mathematisch ausgedrückt kann dies als Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung des Objekts zur spektralen Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers wie folgt beschrieben werden:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}}$$

Generell gibt es drei Arten von Strahlungsquellen, die sich darin unterscheiden, wie sich die Spektralstrahlung jeder einzelnen mit der Wellenlänge ändert.

- Ein schwarzer Körper, für den gilt: $\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$
- Ein grauer Körper, für den gilt: $\varepsilon_\lambda = \varepsilon$ = Konstante kleiner 1
- Ein selektiver Strahler, bei dem ε sich mit der Wellenlänge ändert

Nach dem kirchhoffschen Gesetz entsprechen für alle Werkstoffe die emittierte Strahlung und die spektrale Absorptionsfähigkeit eines Körpers einer bestimmten Temperatur und Wellenlänge. Das bedeutet:

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

Daraus erhalten wir für ein undurchsichtiges Material (da $\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$):

$$\varepsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Für extrem glatte Werkstoffe nähert sich ε_λ Null an, so dass für einen vollkommen reflektierenden Werkstoff (*d. h.* einen perfekten Spiegel) gilt:

$$\rho_\lambda = 1$$

Für einen grauen Körper als Strahlungsquelle wird die Stefan-Boltzmann-Formel zu:

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \; [\mathrm{Watt/m^2}]$$

Dies sagt aus, dass die gesamte Strahlungsleistung eines grauen Körpers dieselbe ist wie bei einem schwarzen Körper gleicher Temperatur, der proportional zum Wert von ε des grauen Körpers reduziert ist.

10401203;a2

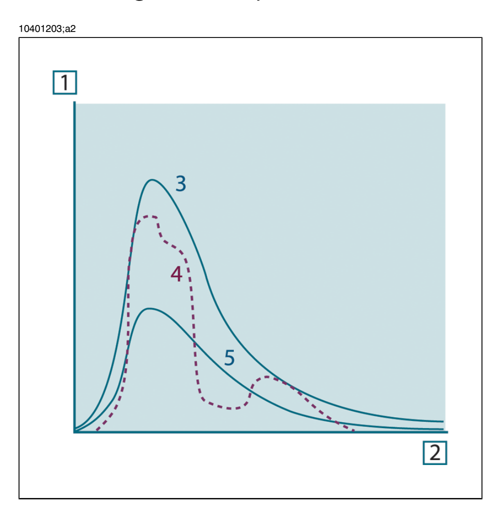


Abbildung 33.8 Spektrale Abstrahlung von drei Strahlertypen **1:** Spektrale Abstrahlung; **2:** Wellenlänge; **3:** Schwarzer Körper; **4:** Selektiver Strahler; **5:** Grauer Körper

10327303;a4

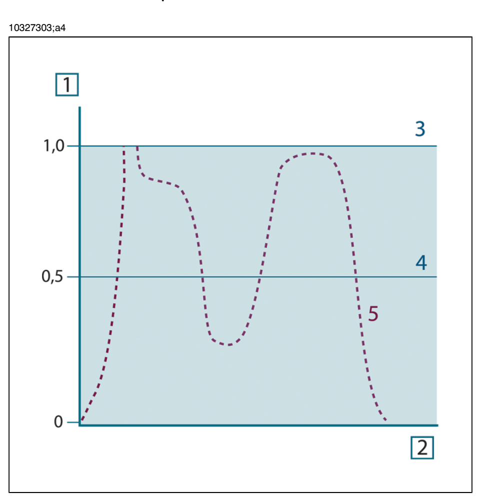


Abbildung 33.9 Spektraler Emissionsgrad von drei Strahlertypen **1:** Spektraler Emissionsgrad; **2:** Wellenlänge; **3:** Schwarzer Körper; **4:** Grauer Körper; **5:** Selektiver Strahler

33.4 Halb-transparente Infrarotmaterialien

Stellen Sie sich jetzt einen nicht-metallischen, halb-transparenten Körper vor, z. B. in Form einer dicken, flachen Scheibe aus Kunststoff. Wenn die Scheibe erhitzt wird, muss sich die in dem Körper erzeugte Strahlung durch den Werkstoff, in dem sie teilweise absorbiert wird, an die Oberflächen durcharbeiten. Wenn sie an der Oberfläche eintrifft, wird außerdem ein Teil davon in das Innere zurückreflektiert. Die zurückreflektierte Strahlung wird wiederum teilweise absorbiert, ein Teil davon gelangt jedoch zur anderen Oberfläche, durch die der größte Anteil entweicht; ein Teil davon wird wieder zurückreflektiert. Obwohl die nachfolgenden Reflexionen immer schwächer werden, müssen sie alle addiert werden, wenn die Gesamtstrahlung der Scheibe ermittelt werden soll. Wenn die resultierende geometrische Reihe summiert wird, ergibt sich der effektive Emissionsgrad einer halb-transparenten Scheibe als:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{(1-\rho_\lambda)(1-\tau_\lambda)}{1-\rho_\lambda\tau_\lambda}$$

Wenn die Scheibe undurchsichtig wird, reduziert sich diese Formel auf die einzelne Formel:

$$\varepsilon_\lambda = 1-\rho_\lambda$$

Diese letzte Beziehung ist besonders praktisch, da es oft einfacher ist, die Reflexionsfähigkeit zu messen, anstatt den Emissionsgrad direkt zu messen.

34 Die Messformel

Wie bereits erwähnt empfängt die Kamera beim Betrachten eines Objekts nicht nur die Strahlung vom Objekt selbst. Sie nimmt auch die Strahlung aus der Umgebung auf, die von der Objektoberfläche reflektiert wird. Beide Strahlungsanteile werden bis zu einem gewissen Grad durch die Atmosphäre im Messpfad abgeschwächt. Dazu kommt ein dritter Strahlungsanteil von der Atmosphäre selbst.

Diese Beschreibung der Messsituation, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, ist eine recht genaue Erläuterung der tatsächlichen Bedingungen. Vernachlässigt wurden wahrscheinlich die Streuung des Sonnenlichts in der Atmosphäre oder die Streustrahlung von starken Strahlungsquellen außerhalb des Betrachtungsfeldes. Solche Störungen sind schwer zu quantifizieren, in den meisten Fällen jedoch glücklicherweise so gering, dass sie vernachlässigbar sind. Ist dies nicht der Fall, ist die Messkonfiguration wahrscheinlich so ausgelegt, dass zumindest ein erfahrener Bediener das Störungsrisiko erkennen kann. Dann liegt es in seiner Verantwortung, die Messsituation so zu ändern, dass Störungen vermieden werden, z. B. durch Ändern der Betrachtungsrichtung, Abschirmen starker Strahlungsquellen usw.

Unter Berücksichtigung der obigen Beschreibung kann mit Hilfe der nachfolgenden Abbildung eine Formel zur Berechnung der Objekttemperatur über das Ausganggsignal der kalibrierten Kamera abgeleitet werden.

10400503;a1

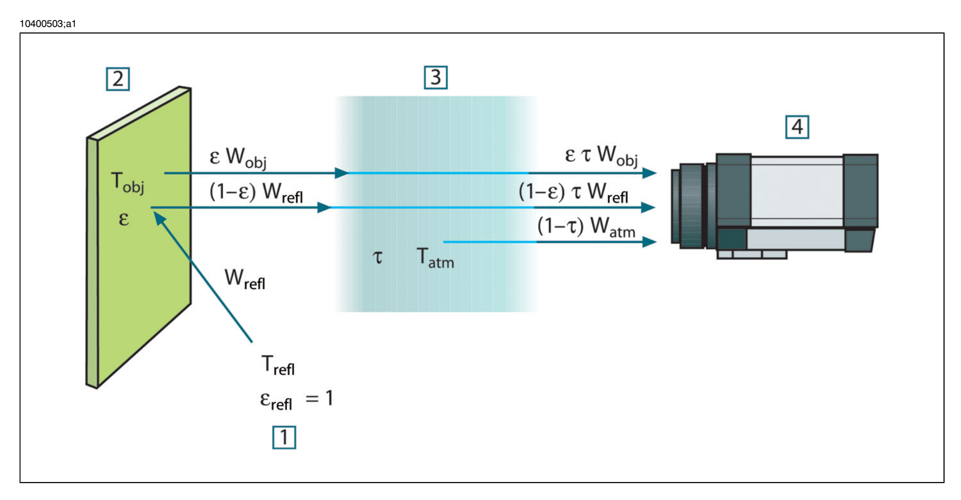


Abbildung 34.1 Schematische Darstellung der allgemeinen thermografischen Messsituation **1:** Umgebung; **2:** Objekt; **3:** Atmosphäre; **4:** Kamera

Wir gehen davon aus, dass die empfangene Strahlungsleistung W von einem Schwarzkörper als Temperaturquelle T_{source} bei einer kurzen Entfernung ein Ausgabesignal U_{source} der Kamera erzeugt, das proportional zum Leistungseingang ist (Kamera mit linearer Leistung). Daraus ergibt sich (Gleichung 1):

$$U_{source} = CW(T_{source})$$

oder einfacher ausgedrückt:

$$U_{source} = CW_{source}$$

wobei C eine Konstante ist.

Handelt es sich um einen Graukörper mit der Abstrahlung ε, ist die empfangene Strahlung folglich εW_{source}.

Jetzt können wir die drei gesammelten Größen zur Strahlungsleistung notieren:

1 – Emission von Objekt = $\varepsilon\tau W_{obj}$, wobei ε die Abstrahlung des Objekts und τ die Transmission der Atmosphäre ist. Die Objekttemperatur ist T_{obj}.

2 – Reflektierte Emission von Umgebungsquellen = $(1 – \varepsilon)\tau W_{refl}$, wobei (1 – ε) die Reflektion des Objekts ist. Die Umgebungsquellen haben die Temperatur T_{refl}.

Hier wurde davon ausgegangen, dass die Temperatur T_{refl} für alle emittierenden Oberflächen innerhalb der Halbsphäre, die von einem Punkt auf der Objektoberfläche betrachtet wird, gleich ist. Dies ist in einigen Fällen natürlich eine Vereinfachung der tatsächlichen Situation. Diese ist jedoch notwendig, damit eine praktikable Formel abgeleitet werden kann. T_{refl} kann – zumindest theoretisch – ein Wert zugewiesen werden, der eine effiziente Temperatur einer komplexen Umgebung darstellt.

Als Abstrahlung für die Umgebung wurde der Wert 1 angenommen. Dies ist in Übereinstimmung mit dem kirchhoffschen Gesetz richtig: Die gesamte Strahlung, die auf die umgebenden Oberflächen auftritt, wird schließlich von diesen absorbiert. Daher ist die Abstrahlung = 1. (Es ist zu beachten, dass entsprechend neuester Erkenntnisse die gesamte Sphäre um das betreffende Objekt beachtet werden muss.)

3 – Emission von Atmosphäre = $(1 – \tau)\tau W_{atm}$, wobei (1 – τ) die Abstrahlung der Atmosphäre ist. Die Temperatur der Atmosphäre ist T_{atm}.

Die gesamte empfangene Strahlungsleistung kann nun notiert werden (Gleichung 2):

$$W_{tot} = \varepsilon\tau W_{obj} + (1-\varepsilon)\tau W_{refl} + (1-\tau)W_{atm}$$

Wir multiplizieren jeden Ausdruck mit der Konstante C aus Gleichung 1 und ersetzen die Produkte aus CW durch das entsprechende U gemäß derselben Gleichung und erhalten (Gleichung 3):

$$U_{tot} = \varepsilon\tau U_{obj} + (1-\varepsilon)\tau U_{refl} + (1-\tau)U_{atm}$$

Gleichung 3 wird nach U_{obj} aufgelöst (Gleichung 4):

$$U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon\tau}U_{tot} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}U_{refl} - \frac{1-\tau}{\varepsilon\tau}U_{atm}$$

Dies ist die allgemeine Messformel, die in allen thermografischen Geräten von FLIR Systems verwendet wird. Die Spannungen der Formel lauten:

Abbildung 34.2 Spannungen

U_{obj}	Berechnete Ausgabespannung der Kamera für einen Schwarzkörper der Temperatur T_{obj}, also eine Spannung, die sofort in die tatsächliche Temperatur des betreffenden Objekts umgewandelt werden kann.
U_{tot}	Gemessene Ausgabespannung der Kamera für den tatsächlichen Fall.
U_{refl}	Theoretische Ausgabespannung der Kamera für einen Schwarzkörper der Temperatur T_{refl} entsprechend der Kalibrierung.
U_{atm}	Theoretische Ausgabespannung der Kamera für einen Schwarzkörper der Temperatur T_{atm} entsprechend der Kalibrierung.

Der Bediener muss mehrere Parameterwerte für die Berechnung liefern:

- die Objektabstrahlung ε,
- die relative Luftfeuchtigkeit,
- T_{atm}
- Objektentfernung (D_{obj})
- die (effektive) Temperatur der Objektumgebung oder die reflektierte Umgebungstemperatur T_{refl} und
- die Temperatur der Atmosphäre T_{atm}

Diese Aufgabe ist für den Bediener oft schwierig, da normalerweise die genauen Werte für die Abstrahlung und die Transmission der Atmosphäre für den tatsächlichen Fall nur schwer zu ermitteln sind. Die zwei Temperaturen sind für gewöhnlich ein geringeres Problem, wenn in der Umgebung keine großen und intensiven Strahlungsquellen vorhanden sind.

Eine natürliche Frage in diesem Zusammenhang ist: Wie wichtig ist die Kenntnis der richtigen Werte dieser Parameter? Es kann hilfreich sein, bereits an dieser Stelle ein Gefühl für diese Problematik zu entwickeln, indem verschiedene Messfälle betrachtet und die relativen Größen der drei Strahlungsgrößen verglichen werden. Daraus lässt sich ersehen, wann es wichtig ist, die richtigen Werte bestimmter Parameter zu verwenden.

Die folgenden Zahlen stellen die relativen Größen der drei Strahlungsanteile für drei verschiedene Objekttemperaturen, zwei Abstrahlungen und zwei Spektralbereiche dar: SW und LW. Die übrigen Parameter haben die folgenden festen Werte:

- $\tau = 0{,}88$
- $T_{refl} = +20$ °C
- $T_{atm} = +20$ °C

Es ist offensichtlich, dass die Messung niedriger Objekttemperaturen kritischer ist als die Messung hoher Temperaturen, da die Störstrahlungsquellen im ersteren Fall vergleichsweise stärker sind. Falls zusätzlich die Objektabstrahlung schwach ist, wird die Situation noch schwieriger.

Schließlich muss geklärt werden, wie wichtig es ist, die Kalibrierungskurve über dem höchsten Kalibrierungspunkt nutzen zu dürfen (Extrapolation genannt). Angenommen, in einem bestimmten Fall werden $U_{tot} = 4{,}5$ Volt gemessen. Der höchste Kalibrierungspunkt der Kamera liegt im Bereich von 4,1 Volt, einem Wert, der dem Bediener unbekannt ist. Selbst wenn das Objekt ein Schwarzkörper ist, also $U_{obj} = U_{tot}$ ist, wird tatsächlich eine Extrapolation der Kalibrierungskurve durchgeführt, wenn 4,5 Volt in Temperatur umgerechnet werden.

Es wird nun angenommen, dass das Objekt nicht schwarz ist, seine Abstrahlung 0,75 und die Transmission 0,92 betragen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die beiden zweiten Ausdrücke der Gleichung 4 zusammen 0,5 Volt ergeben. Die Berechnung von U_{obj} mit Hilfe der Gleichung 4 ergibt dann $U_{obj} = 4{,}5 / 0{,}75 / 0{,}92 - 0{,}5 = 6{,}0$. Dies ist eine recht extreme Extrapolation, besonders wenn man bedenkt, dass der Videoverstärker die Ausgabe wahrscheinlich auf 5 Volt beschränkt. Beachten Sie jedoch, dass die Anwendung der Kalibrierungskurve eine theoretische Vorgehensweise ist, bei der weder elektronische noch andere Beschränkungen bestehen. Wir sind davon überzeugt, dass bei einer fehlenden Signalbegrenzung in der Kamera und deren Kalibrierung auf weit mehr als 5 Volt die entstehende Kurve der tatsächlichen Kurve mit einer Extrapolation von mehr als 4,1 Volt sehr ähnlich gewesen wäre, vorausgesetzt, der Kalibrierungsalgorithmus beruht auf Gesetzen der Strahlungsphysik, wie zum Beispiel der Algorithmus von FLIR Systems. Natürlich muss es für solche Extrapolationen eine Grenze geben.

10400603;a2

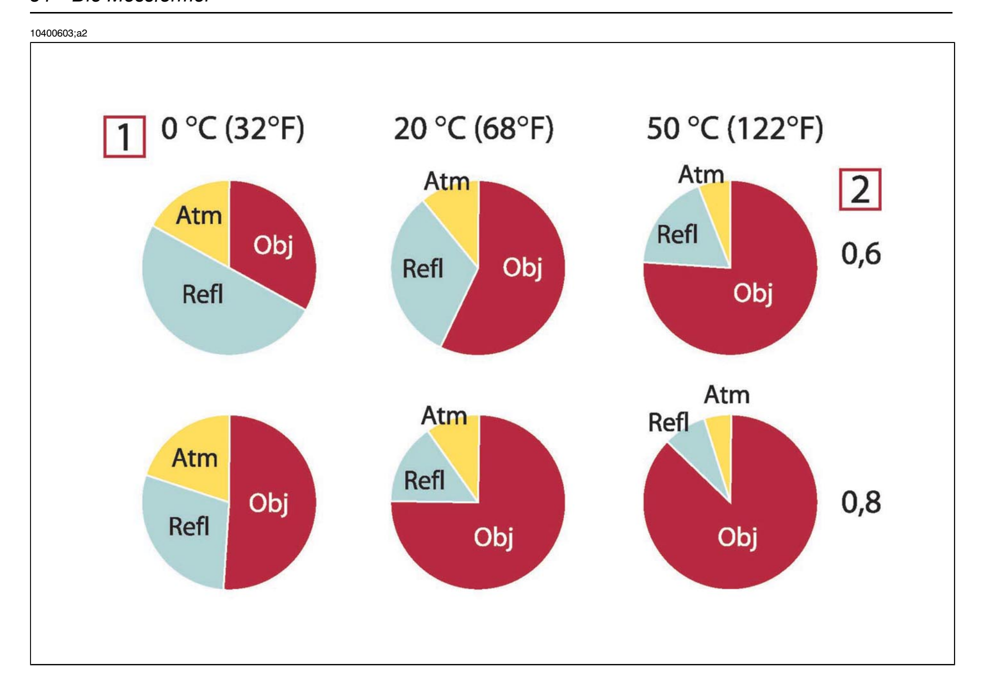


Abbildung 34.3 Relative Größen der Strahlungsquellen unter verschiedenen Messbedingungen (SW-Kamera). **1:** Objekttemperatur; **2:** Abstrahlung; **Obj:** Objektstrahlung; **Refl:** Reflektierte Strahlung; **Atm:** Atmosphärenstrahlung. Feste Parameter: $\tau = 0{,}88$; $T_{refl} = 20$ °C; $T_{atm} = 20$ °C.

10400703;a2

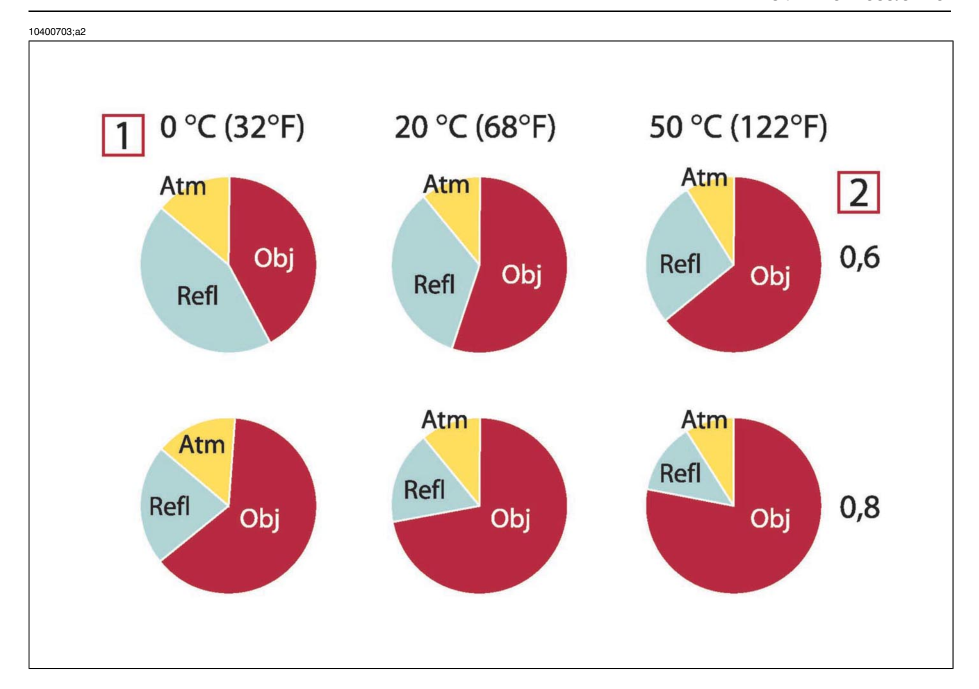


Abbildung 34.4 Relative Größen der Strahlungsquellen unter verschiedenen Messbedingungen (LW-Kamera). **1:** Objekttemperatur; **2:** Abstrahlung; **Obj:** Objektstrahlung; **Refl:** Reflektierte Strahlung; **Atm:** Atmosphärenstrahlung. Feste Parameter: τ = 0,88; T_{refl} = 20 °C; T_{atm} = 20 °C.

35 Emissionstabellen

In diesem Abschnitt finden Sie eine Aufstellung von Emissionsdaten aus der Fachliteratur und eigenen Messungen von FLIR Systems.

35.1 Referenzen

1	Mikaél A. Bramson: *Infrared Radiation, A Handbook for Applications*, Plenum press, N.Y.
2	William L. Wolfe, George J. Zissis: *The Infrared Handbook*, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
3	Madding, R. P.: *Thermographic Instruments and Systems*. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin - Extension, Department of Engineering and Applied Science.
4	William L. Wolfe: *Handbook of Military Infrared Technology*, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
5	Jones, Smith, Probert: *External thermography of buildings...,* Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, vol.110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology, Juni 1977 London.
6	Paljak, Pettersson: *Thermography of Buildings*, Swedish Building Research Institute, Stockholm 1972.
7	Vlcek, J: *Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at* $\lambda = 5$ *µm.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
8	Kern: *Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites*, Defence Documentation Center, AD 617 417.
9	Öhman, Claes: *Emittansmätningar med AGEMA E-Box*. Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Emissionsmessungen mit AGEMA E-Box. Technischer Bericht, AGEMA 1999.)
10	Matteï, S., Tang-Kwor, E: *Emissivity measurements for Nextel Velvet coating 811-21 between –36°C AND 82°C.*
11	Lohrengel & Todtenhaupt (1996)
12	ITC Technical publication 32.
13	ITC Technical publication 29.

35.2 Wichtiger Hinweis zu den Emissionsgradtabellen

Die Emissionswerte in der Tabelle unten wurden mit einer Kurzwellenkamera aufgenommen. Die Werte gelten lediglich als Empfehlung und sind mit Sorgfalt zu verwenden.

35.3 Tabellen

Abbildung 35.1 **T:**Gesamtspektrum; **SW:** 2 – 5 μm; **LW:** 8 – 14 μm, **LLW:** 6,5 – 20 μm; **1:** Werkstoff; **2:** Spezifikation; **3:** Temperatur in °C; **4:** Spektrum; **5:** Emissionsgrad; **6:** Referenz

1	2	3	4	5	6
3M Scotch 35	PVC-Elektroisolierband (verschiedene Farben)	< 80	LW	ungefähr 0,96	13
3M Scotch Super 33+	schwarzes PVC-Elektroisolierband	< 80	LW	ungefähr 0,96	13
3M Scotch Super 88	schwarzes PVC-Elektroisolierband	< 105	LW	ungefähr 0,96	13
3M Scotch Super 88	schwarzes PVC-Elektroisolierband	< 105	MW	< 0.96	13
Aluminium	Blech, 4 Muster unterschiedlich zerkratzt	70	LW	0,03–0,06	9
Aluminium	Blech, 4 Muster unterschiedlich zerkratzt	70	SW	0,05–0,08	9
Aluminium	eloxiert, hellgrau, stumpf	70	LW	0,97	9
Aluminium	eloxiert, hellgrau, stumpf	70	SW	0,61	9
Aluminium	eloxiert, schwarz, stumpf	70	LW	0,95	9
Aluminium	eloxiert, schwarz, stumpf	70	SW	0,67	9
Aluminium	eloxiertes Blech	100	T	0,55	2
Aluminium	Folie	27	3 μm	0,09	3
Aluminium	Folie	27	10 μm	0,04	3
Aluminium	geraut	27	3 μm	0,28	3
Aluminium	geraut	27	10 μm	0,18	3
Aluminium	Guss, sandgestrahlt	70	LW	0,46	9
Aluminium	Guss, sandgestrahlt	70	SW	0,47	9

1	2	3	4	5	6
Aluminium	in HNO_3 getaucht, Platte	100	T	0,05	4
Aluminium	poliert	50–100	T	0,04–0,06	1
Aluminium	poliert, Blech	100	T	0,05	2
Aluminium	polierte Platte	100	T	0,05	4
Aluminium	raue Oberfläche	20–50	T	0,06–0,07	1
Aluminium	stark oxidiert	50–500	T	0,2–0,3	1
Aluminium	stark verwittert	17	SW	0,83–0,94	5
Aluminium	unverändert, Blech	100	T	0,09	2
Aluminium	unverändert, Plat-te	100	T	0,09	4
Aluminium	vakuumbeschich-tet	20	T	0,04	2
Aluminiumbronze		20	T	0,60	1
Aluminiumhy-droxid	Pulver		T	0,28	1
Aluminiumoxid	aktiviert, Pulver		T	0,46	1
Aluminiumoxid	rein, Pulver (Alumi-niumoxid)		T	0,16	1
Asbest	Bodenfliesen	35	SW	0,94	7
Asbest	Brett	20	T	0,96	1
Asbest	Gewerbe		T	0,78	1
Asbest	Papier	40–400	T	0,93–0,95	1
Asbest	Pulver		T	0,40–0,60	1
Asbest	Ziegel	20	T	0,96	1
Asphaltstraßenbe-lag		4	LLW	0,967	8
Beton		20	T	0,92	2
Beton	Gehweg	5	LLW	0,974	8
Beton	rau	17	SW	0,97	5

Publ. No. T559651 Rev. a540 – GERMAN (DE) – May 25, 2011

1	2	3	4	5	6
Beton	trocken	36	SW	0,95	7
Blech	glänzend	20–50	T	0,04–0,06	1
Blech	Weißblech	100	T	0,07	2
Blei	glänzend	250	T	0,08	1
Blei	nicht oxidiert, poliert	100	T	0,05	4
Blei	oxidiert, grau	20	T	0,28	1
Blei	oxidiert, grau	22	T	0,28	4
Blei	oxidiert bei 200 °C	200	T	0,63	1
Blei rot		100	T	0,93	4
Blei rot, Pulver		100	T	0,93	1
Bronze	Phosphorbronze	70	LW	0,06	9
Bronze	Phosphorbronze	70	SW	0,08	9
Bronze	poliert	50	T	0,1	1
Bronze	porös, rau	50–150	T	0,55	1
Bronze	Pulver		T	0,76–0,80	1
Chrom	poliert	50	T	0,10	1
Chrom	poliert	500–1000	T	0,28–0,38	1
Ebonit			T	0,89	1
Eis: Siehe Wasser					
Eisen galvanisiert	Blech	92	T	0,07	4
Eisen galvanisiert	Blech, oxidiert	20	T	0,28	1
Eisen galvanisiert	Blech, poliert	30	T	0,23	1
Eisen galvanisiert	stark oxidiert	70	LW	0,85	9
Eisen galvanisiert	stark oxidiert	70	SW	0,64	9
Eisen und Stahl	elektrolytisch	22	T	0,05	4
Eisen und Stahl	elektrolytisch	100	T	0,05	4
Eisen und Stahl	elektrolytisch	260	T	0,07	4

1	2	3	4	5	6
Eisen und Stahl	elektrolytisch, hochglanzpoliert	175–225	T	0,05–0,06	1
Eisen und Stahl	frisch gewalzt	20	T	0,24	1
Eisen und Stahl	frisch mit Schmirgelpapier bearbeitet	20	T	0,24	1
Eisen und Stahl	geschliffenes Blech	950–1100	T	0,55–0,61	1
Eisen und Stahl	geschmiedet, hochglanzpoliert	40–250	T	0,28	1
Eisen und Stahl	gewalztes Blech	50	T	0,56	1
Eisen und Stahl	glänzend, geätzt	150	T	0,16	1
Eisen und Stahl	glänzende Oxidschicht, Blech	20	T	0,82	1
Eisen und Stahl	heißgewalzt	20	T	0,77	1
Eisen und Stahl	heißgewalzt	130	T	0,60	1
Eisen und Stahl	kaltgewalzt	70	LW	0,09	9
Eisen und Stahl	kaltgewalzt	70	SW	0,20	9
Eisen und Stahl	mit rotem Rost bedeckt	20	T	0,61–0,85	1
Eisen und Stahl	oxidiert	100	T	0,74	1
Eisen und Stahl	oxidiert	100	T	0,74	4
Eisen und Stahl	oxidiert	125–525	T	0,78–0,82	1
Eisen und Stahl	oxidiert	200	T	0,79	2
Eisen und Stahl	oxidiert	200–600	T	0,80	1
Eisen und Stahl	oxidiert	1227	T	0,89	4
Eisen und Stahl	poliert	100	T	0,07	2
Eisen und Stahl	poliert	400–1000	T	0,14–0,38	1
Eisen und Stahl	poliertes Blech	750–1050	T	0,52–0,56	1
Eisen und Stahl	rau, ebene Oberfläche	50	T	0,95–0,98	1
Eisen und Stahl	rostig, rot	20	T	0,69	1

1	2	3	4	5	6
Eisen und Stahl	rostrot, Blech	22	T	0,69	4
Eisen und Stahl	stark oxidiert	50	T	0,88	1
Eisen und Stahl	stark oxidiert	500	T	0,98	1
Eisen und Stahl	stark verrostet	17	SW	0,96	5
Eisen und Stahl	stark verrostetes Blech	20	T	0,69	2
Eisen verzinnt	Blech	24	T	0,064	4
Emaille		20	T	0,9	1
Emaille	Lack	20	T	0,85–0,95	1
Erde	mit Wasser gesättigt	20	T	0,95	2
Erde	trocken	20	T	0,92	2
Faserplatte	hart, unbehandelt	20	SW	0,85	6
Faserplatte	Ottrelith	70	LW	0,88	9
Faserplatte	Ottrelith	70	SW	0,75	9
Faserplatte	Partikelplatte	70	LW	0,89	9
Faserplatte	Partikelplatte	70	SW	0,77	9
Faserplatte	porös, unbehandelt	20	SW	0,85	6
Firnis	auf Eichenparkettboden	70	LW	0,90–0,93	9
Firnis	auf Eichenparkettboden	70	SW	0,90	9
Firnis	matt	20	SW	0,93	6
Gips		20	T	0,8–0,9	1
Gipsputz		17	SW	0,86	5
Gipsputz	Gipsplatte, unbehandelt	20	SW	0,90	6
Gipsputz	raue Oberfläche	20	T	0,91	2
Gold	hochglanzpoliert	200–600	T	0,02–0,03	1
Gold	hochpoliert	100	T	0,02	2

1	2	3	4	5	6
Gold	poliert	130	T	0,018	1
Granit	poliert	20	LLW	0,849	8
Granit	rau	21	LLW	0,879	8
Granit	rau, 4 verschiedene Muster	70	LW	0,77–0,87	9
Granit	rau, 4 verschiedene Muster	70	SW	0,95–0,97	9
Gummi	hart	20	T	0,95	1
Gummi	weich, grau, rau	20	T	0,95	1
Gusseisen	bearbeitet	800–1000	T	0,60–0,70	1
Gusseisen	flüssig	1300	T	0,28	1
Gusseisen	Guss	50	T	0,81	1
Gusseisen	Gusseisenblöcke	1000	T	0,95	1
Gusseisen	oxidiert	38	T	0,63	4
Gusseisen	oxidiert	100	T	0,64	2
Gusseisen	oxidiert	260	T	0,66	4
Gusseisen	oxidiert	538	T	0,76	4
Gusseisen	oxidiert bei 600 °C	200–600	T	0,64–0,78	1
Gusseisen	poliert	38	T	0,21	4
Gusseisen	poliert	40	T	0,21	2
Gusseisen	poliert	200	T	0,21	1
Gusseisen	unbearbeitet	900–1100	T	0,87–0,95	1
Haut	Mensch	32	T	0,98	2
Holz		17	SW	0,98	5
Holz		19	LLW	0,962	8
Holz	gehobelt	20	T	0,8–0,9	1
Holz	gehobelte Eiche	20	T	0,90	2
Holz	gehobelte Eiche	70	LW	0,88	9
Holz	gehobelte Eiche	70	SW	0,77	9

1	2	3	4	5	6
Holz	geschmirgelt		T	0,5–0,7	1
Holz	Pinie, 4 verschiedene Muster	70	LW	0,81–0,89	9
Holz	Pinie, 4 verschiedene Muster	70	SW	0,67–0,75	9
Holz	Sperrholz, glatt, trocken	36	SW	0,82	7
Holz	Sperrholz, unbehandelt	20	SW	0,83	6
Holz	weiß, feucht	20	T	0,7–0,8	1
Kalk			T	0,3–0,4	1
Kohlenstoff	Grafit, Oberfläche gefeilt	20	T	0,98	2
Kohlenstoff	Grafitpulver		T	0,97	1
Kohlenstoff	Holzkohlepulver		T	0,96	1
Kohlenstoff	Kerzenruß	20	T	0,95	2
Kohlenstoff	Lampenruß	20–400	T	0,95–0,97	1
Krylon Ultra-flat black 1602	Mattschwarz	Raumtemperatur bis 175	LW	ungefähr 0,96	12
Krylon Ultra-flat black 1602	Mattschwarz	Raumtemperatur bis 175	MW	ungefähr 0,97	12
Kunststoff	Glasfaserlaminat (Leiterplatte)	70	LW	0,91	9
Kunststoff	Glasfaserlaminat (Leiterplatte)	70	SW	0,94	9
Kunststoff	Polyurethan-Isolierplatte	70	LW	0,55	9
Kunststoff	Polyurethan-Isolierplatte	70	SW	0,29	9
Kunststoff	PVC, Kunststoffboden, stumpf, strukturiert	70	LW	0,93	9
Kunststoff	PVC, Kunststoffboden, stumpf, strukturiert	70	SW	0,94	9

1	2	3	4	5	6
Kupfer	elektrolytisch, hochglanzpoliert	80	T	0,018	1
Kupfer	elektrolytisch, poliert	–34	T	0,006	4
Kupfer	geschabt	27	T	0,07	4
Kupfer	geschmolzen	1100–1300	T	0,13–0,15	1
Kupfer	kommerziell, glänzend	20	T	0,07	1
Kupfer	oxidiert	50	T	0,6–0,7	1
Kupfer	oxidiert, dunkel	27	T	0,78	4
Kupfer	oxidiert, stark	20	T	0,78	2
Kupfer	oxidiert schwarz		T	0,88	1
Kupfer	poliert	50–100	T	0,02	1
Kupfer	poliert	100	T	0,03	2
Kupfer	poliert, kommerziell	27	T	0,03	4
Kupfer	poliert, mechanisch	22	T	0,015	4
Kupfer	rein, sorgfältig vorbereitete Oberfläche	22	T	0,008	4
Kupferdioxid	Pulver		T	0,84	1
Kupferoxid	rot, Pulver		T	0,70	1
Lack	3 Farben auf Aluminium gesprüht	70	LW	0,92–0,94	9
Lack	3 Farben auf Aluminium gesprüht	70	SW	0,50–0,53	9
Lack	Aluminium auf rauer Oberfläche	20	T	0,4	1
Lack	Bakelit	80	T	0,83	1
Lack	hitzebeständig	100	T	0,92	1
Lack	schwarz, glänzend, auf Eisen gesprüht	20	T	0,87	1

1	2	3	4	5	6
Lack	schwarz, matt	100	T	0,97	2
Lack	schwarz, stumpf	40–100	T	0,96–0,98	1
Lack	weiß	40–100	T	0,8–0,95	1
Lack	weiß	100	T	0,92	2
Lacke	8 verschiedene Farben und Qualitäten	70	LW	0,92–0,94	9
Lacke	8 verschiedene Farben und Qualitäten	70	SW	0,88–0,96	9
Lacke	Aluminium, unterschiedliches Alter	50–100	T	0,27–0,67	1
Lacke	auf Ölbasis, Mittelwert von 16 Farben	100	T	0,94	2
Lacke	chromgrün		T	0,65–0,70	1
Lacke	kadmiumgelb		T	0,28–0,33	1
Lacke	kobaltblau		T	0,7–0,8	1
Lacke	Kunststoff, schwarz	20	SW	0,95	6
Lacke	Kunststoff, weiß	20	SW	0,84	6
Lacke	Öl	17	SW	0,87	5
Lacke	Öl, diverse Farben	100	T	0,92–0,96	1
Lacke	Öl, glänzend grau	20	SW	0,96	6
Lacke	Öl, grau, matt	20	SW	0,97	6
Lacke	Öl, schwarz, matt	20	SW	0,94	6
Lacke	Öl, schwarz glänzend	20	SW	0,92	6
Leder	gebräunt, gegerbt		T	0,75–0,80	1
Magnesium		22	T	0,07	4
Magnesium		260	T	0,13	4
Magnesium		538	T	0,18	4

1	2	3	4	5	6
Magnesium	poliert	20	T	0,07	2
Magnesiumpulver			T	0,86	1
Messing	abgerieben mit 80er-Schmirgelpapier	20	T	0,20	2
Messing	Blech, gewalzt	20	T	0,06	1
Messing	Blech, mit Schmirgelpapier bearbeitet	20	T	0,2	1
Messing	hochpoliert	100	T	0,03	2
Messing	oxidiert	70	SW	0,04–0,09	9
Messing	oxidiert	70	LW	0,03–0,07	9
Messing	oxidiert	100	T	0,61	2
Messing	oxidiert bei 600 °C	200–600	T	0,59–0,61	1
Messing	poliert	200	T	0,03	1
Messing	stumpf, fleckig	20–350	T	0,22	1
Molybdän		600–1000	T	0,08–0,13	1
Molybdän		1500–2200	T	0,19–0,26	1
Molybdän	Faden	700–2500	T	0,1–0,3	1
Mörtel		17	SW	0,87	5
Mörtel	trocken	36	SW	0,94	7
Nextel Velvet 811-21 Black	Mattschwarz	–60–150	LW	> 0.97	10 und 11
Nickel	Draht	200–1000	T	0,1–0,2	1
Nickel	elektrolytisch	22	T	0,04	4
Nickel	elektrolytisch	38	T	0,06	4
Nickel	elektrolytisch	260	T	0,07	4
Nickel	elektrolytisch	538	T	0,10	4
Nickel	galvanisiert, poliert	20	T	0,05	2
Nickel	galvanisiert auf Eisen, nicht poliert	20	T	0,11–0,40	1

1	2	3	4	5	6
Nickel	galvanisiert auf Eisen, nicht poliert	22	T	0,11	4
Nickel	galvanisiert auf Eisen, poliert	22	T	0,045	4
Nickel	hell matt	122	T	0,041	4
Nickel	oxidiert	200	T	0,37	2
Nickel	oxidiert	227	T	0,37	4
Nickel	oxidiert	1227	T	0,85	4
Nickel	oxidiert bei 600 °C	200–600	T	0,37–0,48	1
Nickel	poliert	122	T	0,045	4
Nickel	rein, poliert	100	T	0,045	1
Nickel	rein, poliert	200–400	T	0,07–0,09	1
Nickelchrom	Draht, blank	50	T	0,65	1
Nickelchrom	Draht, blank	500–1000	T	0,71–0,79	1
Nickelchrom	Draht, oxidiert	50–500	T	0,95–0,98	1
Nickelchrom	gewalzt	700	T	0,25	1
Nickelchrom	sandgestrahlt	700	T	0,70	1
Nickeloxid		500–650	T	0,52–0,59	1
Nickeloxid		1000–1250	T	0,75–0,86	1
Öl, Schmieröl	0,025-mm-Film	20	T	0,27	2
Öl, Schmieröl	0,050-mm-Film	20	T	0,46	2
Öl, Schmieröl	0,125-mm-Film	20	T	0,72	2
Öl, Schmieröl	dicke Schicht	20	T	0,82	2
Öl, Schmieröl	Film auf Ni-Basis: nur Ni-Basis	20	T	0,05	2
Papier	4 verschiedene Farben	70	LW	0,92–0,94	9
Papier	4 verschiedene Farben	70	SW	0,68–0,74	9
Papier	beschichtet mit schwarzem Lack		T	0,93	1

1	2	3	4	5	6
Papier	dunkelblau		T	0,84	1
Papier	gelb		T	0,72	1
Papier	grün		T	0,85	1
Papier	rot		T	0,76	1
Papier	schwarz		T	0,90	1
Papier	schwarz, stumpf		T	0,94	1
Papier	schwarz, stumpf	70	LW	0,89	9
Papier	schwarz, stumpf	70	SW	0,86	9
Papier	weiß	20	T	0,7–0,9	1
Papier	weiß, 3 verschiedene Glanzarten	70	LW	0,88–0,90	9
Papier	weiß, 3 verschiedene Glanzarten	70	SW	0,76–0,78	9
Papier	weiß, gebunden	20	T	0,93	2
Platin		17	T	0,016	4
Platin		22	T	0,03	4
Platin		100	T	0,05	4
Platin		260	T	0,06	4
Platin		538	T	0,10	4
Platin		1000–1500	T	0,14–0,18	1
Platin		1094	T	0,18	4
Platin	Band	900–1100	T	0,12–0,17	1
Platin	Draht	50–200	T	0,06–0,07	1
Platin	Draht	500–1000	T	0,10–0,16	1
Platin	Draht	1400	T	0,18	1
Platin	rein, poliert	200–600	T	0,05–0,10	1
Porzellan	glasiert	20	T	0,92	1
Porzellan	weiß, leuchtend		T	0,70–0,75	1
rostfreier Stahl	Blech, poliert	70	LW	0,14	9

Publ. No. T559651 Rev. a540 – GERMAN (DE) – May 25, 2011

1	2	3	4	5	6
rostfreier Stahl	Blech, poliert	70	SW	0,18	9
rostfreier Stahl	Blech, unbehandelt, etwas zerkratzt	70	LW	0,28	9
rostfreier Stahl	Blech, unbehandelt, etwas zerkratzt	70	SW	0,30	9
rostfreier Stahl	gewalzt	700	T	0,45	1
rostfreier Stahl	Legierung, 8 % Ni, 18 % Cr	500	T	0,35	1
rostfreier Stahl	sandgestrahlt	700	T	0,70	1
rostfreier Stahl	Typ 18 – 8, glänzend	20	T	0,16	2
rostfreier Stahl	Typ 18-8, oxidiert bei 800 °C	60	T	0,85	2
Sand			T	0,60	1
Sand		20	T	0,90	2
Sandstein	poliert	19	LLW	0,909	8
Sandstein	rau	19	LLW	0,935	8
Schlacke	Kessel	0–100	T	0,97–0,93	1
Schlacke	Kessel	200–500	T	0,89–0,78	1
Schlacke	Kessel	600–1200	T	0,76–0,70	1
Schlacke	Kessel	1400–1800	T	0,69–0,67	1
Schmirgelpapier	grob	80	T	0,85	1
Schnee: Siehe Wasser					
Silber	poliert	100	T	0,03	2
Silber	rein, poliert	200–600	T	0,02–0,03	1
Spanplatte	unbehandelt	20	SW	0,90	6
Stukkatur	rau, gelbgrün	10–90	T	0,91	1
Styropor	Wärmedämmung	37	SW	0,60	7

1	2	3	4	5	6
Tapete	leicht gemustert, hellgrau	20	SW	0,85	6
Tapete	leicht gemustert, rot	20	SW	0,90	6
Teer			T	0,79–0,84	1
Teer	Papier	20	T	0,91–0,93	1
Titan	oxidiert bei 540 °C	200	T	0,40	1
Titan	oxidiert bei 540 °C	500	T	0,50	1
Titan	oxidiert bei 540 °C	1000	T	0,60	1
Titan	poliert	200	T	0,15	1
Titan	poliert	500	T	0,20	1
Titan	poliert	1000	T	0,36	1
Ton	gebrannt	70	T	0,91	1
Tuch	schwarz	20	T	0,98	1
Wasser	destilliert	20	T	0,96	2
Wasser	Eis, bedeckt mit starkem Frost	0	T	0,98	1
Wasser	Eis, glatt	–10	T	0,96	2
Wasser	Eis, glatt	0	T	0,97	1
Wasser	Frostkristalle	–10	T	0,98	2
Wasser	Schicht >0,1 mm dick	0–100	T	0,95–0,98	1
Wasser	Schnee		T	0,8	1
Wasser	Schnee	–10	T	0,85	2
Wolfram		200	T	0,05	1
Wolfram		600–1000	T	0,1–0,16	1
Wolfram		1500–2200	T	0,24–0,31	1
Wolfram	Faden	3300	T	0,39	1
Ziegel	Aluminiumoxid	17	SW	0,68	5

1	2	3	4	5	6
Ziegel	Dinas-Siliziumoxid, Feuerfestprodukt	1000	T	0,66	1
Ziegel	Dinas-Siliziumoxid, glasiert, rau	1100	T	0,85	1
Ziegel	Dinas-Siliziumoxid, unglasiert, rau	1000	T	0,80	1
Ziegel	Feuerfestprodukt, Korund	1000	T	0,46	1
Ziegel	Feuerfestprodukt, Magnesit	1000–1300	T	0,38	1
Ziegel	Feuerfestprodukt, schwach strahlend	500–1000	T	0,65–0,75	1
Ziegel	Feuerfestprodukt, stark strahlend	500–1000	T	0,8–0,9	1
Ziegel	Feuerziegel	17	SW	0,68	5
Ziegel	glasiert	17	SW	0,94	5
Ziegel	Mauerwerk	35	SW	0,94	7
Ziegel	Mauerwerk, verputzt	20	T	0,94	1
Ziegel	normal	17	SW	0,86–0,81	5
Ziegel	rot, normal	20	T	0,93	2
Ziegel	rot, rau	20	T	0,88–0,93	1
Ziegel	Schamotte	20	T	0,85	1
Ziegel	Schamotte	1000	T	0,75	1
Ziegel	Schamotte	1200	T	0,59	1
Ziegel	Silizium, 95 % SiO_2	1230	T	0,66	1
Ziegel	Sillimanit, 33 % SiO_2, 64 % Al_2O_3	1500	T	0,29	1
Ziegel	wasserfest	17	SW	0,87	5

1	2	3	4	5	6
Zink	Blech	50	T	0,20	1
Zink	oxidiert bei 400 °C	400	T	0,11	1
Zink	oxidierte Oberflä-che	1000–1200	T	0,50–0,60	1
Zink	poliert	200–300	T	0,04–0,05	1

A note on the technical production of this publication

This publication was produced using XML—the *eXtensible Markup Language*. For more information about XML, please visit http://www.w3.org/XML/

A note on the typeface used in this publication

This publication was typeset using Swiss 721, which is Bitstream's pan-European version of the Helvetica™ typeface. Helvetica™ was designed by Max Miedinger (1910–1980).

List of effective files

20235102.xml b18
20235202.xml b14
20235302.xml b12
20236702.xml b26
20237102.xml b12
20238502.xml a10
20238702.xml a7
20250402.xml a17
20254903.xml a71
20257002.xml a22
20257102.xml a7
20257302.xml a14
20273202.xml a11
20275202.xml a12
20279802.xml a6
20281002.xml a3
20287302.xml a5
20292402.xml a2
20295002.xml a4
20295702.xml a1
20295802.xml a1
20295902.xml a1
20296102.xml a1
20296202.xml a1
20296302.xml a1
20296402.xml a1
20296502.xml a1
20296602.xml a1
20296702.xml a1
20296802.xml a1
20296902.xml a1
20297002.xml a1
20297202.xml a1
20297302.xml a1
20297402.xml a2
20297502.xml a1
20297602.xml a1
20299602.xml a1
R133.rcp a4
config.xml a5



Corporate Headquarters
FLIR Systems, Inc.
27700 SW Parkway Avenue
Wilsonville, OR 97070
USA
Telephone: +1-800-727-3547
Website: http://www.flir.com